

Aus dem Institut für Arbeitsphysiologie und  
Rehabilitationsforschung der Universität Marburg/Lahn  
Direktor: Prof. Dr. G. Hildebrandt

---

ÜBER DIE RHYTHMISCHE FUNKTIONSORDNUNG VON  
PULS UND ATMUNG WÄHREND DES NACHTSCHLAFES  
BEI GESUNDEN UND HIRNGESCHÄDIGTEN KINDERN

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin der  
Philipps-Universität zu Marburg  
vorgelegt von

HANS-JÜRGEN JANKE  
aus Rendsburg

Marburg/Lahn 1974

---

Druck: Görich & Weiershäuser, Marburg (Lahn)



ÜBER DIE RHYTHMISCHE FUNKTIONSORDNUNG VON  
PULS UND ATMUNG WÄHREND DES NACHTSCHLAFES  
BEI GESUNDEN UND HIRNGESCHÄDIGTEN KINDERN

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin der  
Philipps-Universität zu Marburg  
vorgelegt von

HANS-JÜRGEN JANKE  
aus Rendsburg

Marburg/Lahn 1974



Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin  
der Universität Marburg am 22.2.1974  
gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs  
Direktor: Prof. Dr. med. H. Oepen (Dekan)  
Referent: Prof. Dr. med. G. Hildebrandt  
Correferent: Prof. Dr. med. H. Stutte

# Inhaltsverzeichnis

|                                                            | Seite |
|------------------------------------------------------------|-------|
| I. <u>Einleitung</u>                                       | 1     |
| II. <u>Methodik</u>                                        | 5     |
| 1. Versuchspersonen und Versuchsbedingungen                | 5     |
| 2. Untersuchungsmethoden                                   | 7     |
| 3. Statistische Methodik                                   | 9     |
| 4. Auswertungsverfahren                                    | 10    |
| III. <u>Ergebnisse</u>                                     | 14    |
| 1. Das Verhalten der Pulsfrequenz                          | 14    |
| a) Die Stundenmittelwerte                                  | 14    |
| b) Die individuellen nächtlichen Frequenz-<br>mittelwerte  | 14    |
| c) Niveauunabhängiger Vergleich der Frequenz-<br>verläufe  | 17    |
| d) Die Minima                                              | 22    |
| e) Der nächtliche Frequenzabfall                           | 26    |
| f) Die Variabilität                                        | 26    |
| 2. Das Verhalten der Atemfrequenz                          | 31    |
| a) Die Stundenmittelwerte                                  | 31    |
| b) Die individuellen nächtlichen Frequenz-<br>mittelwerte  | 31    |
| c) Niveauunabhängiger Vergleich der Frequenz-<br>verläufe  | 34    |
| d) Die Minima                                              | 37    |
| e) Der nächtliche Frequenzabfall                           | 39    |
| f) Die Variabilität                                        | 42    |
| 3. Das Verhalten des Puls-Atem-Quotienten                  | 46    |
| a) Die Häufigkeitsverteilung                               | 46    |
| b) Der Anteil ganzzahliger Quotienten                      | 50    |
| c) Die zeitliche Verteilung der ganzzahligen<br>Quotienten | 54    |
| d) Das mittlere QPA-Niveau                                 | 56    |
| e) Das mittlere Verhalten während der Nacht                | 57    |
| IV. <u>Diskussion</u>                                      | 63    |
| 1. Zur Methodik                                            | 63    |
| 2. Zu den Ergebnissen                                      | 65    |
| a) Übersicht der wichtigsten Ergebnisse                    | 65    |
| b) Besprechung der Ergebnisse                              | 66    |
| aa) Gesunde Kinder (Gruppe G)                              | 66    |
| bb) Kranke Kinder (Gruppen E und O)                        | 72    |
| cc) Altersgruppen I, II und III                            | 75    |
| V. <u>Zusammenfassung</u>                                  | 77    |
| VI. <u>Literaturverzeichnis</u>                            | 80    |



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41552328\\_0015](https://archive.org/details/IA41552328_0015)

## I. Einleitung

Puls und Atmung gehören zu den auffälligsten physiologischen Funktionen. Entsprechend existiert eine umfangreiche Literatur über das Verhalten beider Größen beim Menschen.

So befaßte sich eine große Zahl von Untersuchungen mit den tagesrhythmischen Veränderungen von Puls und Atmung. Das Absinken der Pulsfrequenz während der Nacht ist seit altersher bekannt und durch zahlreiche systematische Beobachtungen belegt (GRÜTZMANN 1831, BRODMANN 1902, VÖLKER 1927, GROLLMANN 1930, JORES 1935, MENZEL 1942, HILDEBRANDT 1953b, 1960, SCHAFF u. Mitarb. 1960, Wolf 1965, JOVANOVIĆ 1971, PÖLLMANN 1972 u.a.). Die Gültigkeit dieser Gesetzmäßigkeit ist auch für das Kindesalter seit langem gesichert (VOGEL 1873, KATZENBERGER 1913, ARON 1923, SUTHERLAND u. MC MICHAEL 1929, HUNGERLAND u. ZENS 1952, HELLBRÜGGE u. Mitarb. 1956, LANGE 1957, HELLBRÜGGE 1967, FLOTHO 1969, JOVANOVIĆ 1971 u.a.). Verschiedene Autoren berichteten allerdings von einer besonderen Irritabilität des kindlichen Pulses, durch die der normale Tagesgang der Herzfrequenz verwischt werden könne (BRODMANN 1902, VÖLKER 1927, MENZEL 1942). KATZENBERGER (1913) fand nur eine sehr geringe Abhängigkeit der Pulsfrequenz von der Tageszeit.

Im Gegensatz zu diesem Verhalten des Pulses sinkt die Atemfrequenz während der Nacht nicht generell ab (HILDEBRANDT 1953a, 1960). Vielmehr kann es, jedenfalls bei Erwachsenen, bei niedriger Ausgangslage auch zu einem Anstieg der Atemfrequenz kommen. Ein solches nächtliches Konvergieren verschiedener Ausgangslagen am Tage auf einen mittleren Frequenzbereich von 14-15 A/min ist als Normalisierung bezeichnet worden (HILDEBRANDT 1953a, 1960). Wenn andere Untersucher nur abfallende Atemfrequenzverläufe während der Nacht beschrieben haben (SCHAFF u. Mitarb. 1960, WOLF 1965, JOVANOVIĆ 1971, PÖLLMANN 1972 u.a.), so hängt das vermutlich damit zusammen, daß Personen mit einer abendlichen Atemfrequenz niedriger als der erwähnte nächtliche Zielwert von 14-15 A/min relativ selten vorkommen. Für das Kindesalter fanden wir in der Literatur ausschließlich Angaben über einen abfallenden Atemfrequenzverlauf nach dem Einschlafen (ARON 1923, JOVANOVIĆ 1971).

Eine andere Gruppe von Untersuchungen galt der Altersabhängigkeit beider Funktionen. Schon lange wird allgemein eine Abnahme der Pulsfrequenz im Laufe des Kindes- und Jugendalters angenommen (VOLKMAN 1850, KATZENBERGER 1913, BROCK 1954, SCHMIDT 1957 u.a.). Allerdings gab STOLTE (1931) für Kinder von 3 bis 5 Jahren praktisch denselben Normalbereich an wie für Kinder von 6 bis 10 Jahren. HUNGERLAND u. ZENS (1952) konnten in ihren Untersuchungen eine Altersabhängigkeit der Pulsfrequenz während der Nacht für Kinder zwischen 3 und 14 Jahren ebenfalls nicht bestätigen. Gleichzeitig berichteten sie von einer so ausgeprägten Variabilität der Pulsfrequenz beim einzelnen Kind, daß intra- und interindividuelle Streuung von gleicher Größenordnung seien.

KIRCHHOFF (1954) fand, daß sich die Abnahme der Pulsfrequenz nach dem 6. Lebensjahr deutlich verlangsamt, jedoch bis in die Pubertät hinein anhält. LANGE (1957) sah jenseits des 3. Lebensjahres keine sichere Abnahme der mittleren Tagespulsfrequenz mehr.

Ein Rückgang der Atemfrequenz mit zunehmendem Lebensalter ist ebenfalls vielfach belegt (QUETELET 1835, ROHRER 1927, ENGEL 1931, EVANS 1949, DÖNHARDT 1953, KREFT 1953, BROCK 1954, WENNER 1966 u.a., vergl. auch GUYTON 1947). Alle genannten Autoren beschrieben eine Frequenzabnahme bis weit in die Pubertät hinein.

Erst in jüngerer Zeit ist über die gesonderte Beschreibung des Puls- und Atemverhaltens hinaus näher ins Auge gefaßt worden, wie sich beide Funktionen mit verschiedenen anderen rhythmischen Vorgängen in ein harmonisches Gesamtgefüge einordnen (HILDEBRANDT 1960, 1967, ASCHOFF 1959, 1966 u.a.). Es ließ sich zeigen, daß sehr viele rhythmische Funktionen zueinander bevorzugt ganzzahlige Frequenzverhältnisse einstellen (HILDEBRANDT 1967). Das in der älteren, insbesondere auch geisteswissenschaftlichen Literatur immer wieder für den Menschen als Norm beschriebene ganzzahlige Frequenzverhältnis zwischen Puls und Atmung von 4:1 (vergleiche STEINER 1922a, 1922b; weitere Literatur bei HILDEBRANDT 1960) konnte von HILDEBRANDT (1953b, 1960, 1967), insbesondere durch die Aufdeckung der sog. nächtlichen Normalisierung, an Erwachsenen verifiziert werden.

Darüber hinaus fanden sich Hinweise, daß auch andere ganzzahlige Puls-Atem-Quotienten bevorzugt eingestellt werden (HILDEBRANDT 1960, DAUMANN 1965, STORCH 1967, EHRENSTEIN u. Mitarb. 1969) - In letzter Zeit wurde von HANNAPEL (1969) bei Meer-schweinchen verschiedener Altersstufen unter nächtlichen Ruhebedingungen ebenfalls ein Puls-Atem-Quotient von 4 nachgewiesen.

Dem normalen Verhältnis zwischen Puls- und Atemfrequenz von 4:1 entspricht auch ein funktionelles Optimum. So stellt sich nach Befunden von DAUMANN (1965) unter extremer Arbeitsbelastung ein Puls-Atem-Quotient von 4 ein. Ferner ist die Regelgüte nach dosierter Pulsfrequenzauslenkung durch Arbeitsbelastung am größten, wenn das Verhältnis von Puls- und Atemfrequenz in Ruhe genau 4 beträgt; auch andere ganzzahlige Puls-Atem-Quotienten steigern die Regelgüte (HILDEBRANDT 1955a). Erhöhte Quotienten gehen mit einer Labilität der Regulation einher, erniedrigte Ausgangslagen des Quotienten mit einer regulatorischen Starre (HILDEBRANDT 1955a).

Diese Beziehung gilt offenbar für das reaktive Verhalten des gesamten Vegetativums. Da Abweichungen vom normalen Frequenzverhältnis in der Regel bei ein und derselben Versuchsperson nur nach einer Richtung hin vorkommen und hinreichend reproduzierbar sind (HILDEBRANDT 1955a, ISSEL u. Mitarb. 1971), kann der Puls-Atem-Quotient somit als eine individuelle Kenngröße gelten, die Aussagen über die jeweilige Gesamtsituation der vegetativen Reagibilität gestattet. Dieser Konzeption entsprechen zahlreiche Befunde über das Verhalten des Puls-Atem-Quotienten während balneologischer und medikamentöser Behandlungen verschiedener Erkrankungen (HILDEBRANDT 1954, SCHÄFER u. HILDEBRANDT 1954, KIHN 1962, 1963a, 1963b, 1967, HITTMAIR 1966, MATTHIOLIUS 1970, WECKENMANN 1970, 1973). Andere Autoren ordneten darüber hinaus verschiedenen Puls-Atem-Quotienten bestimmte Konstitutionstypen und charakteristische Krankheitsgruppen zu (SUCHANTKE 1951, KIHN 1962, VOLKMANN 1963, v. ZABERN 1970).

Über die Frequenzkoordination von Puls und Atmung bei Kindern existieren bisher nur sehr wenige Untersuchungen. GARROW (1969) beschrieb bei Neugeborenen erstaunlich niedrige Puls-Atem-Quotienten von 1,0 und 2,0.

Auch nach BROCK (1954) beträgt das Frequenzverhältnis zwischen Puls und Atmung bei Säuglingen 2,5:1, steigt im Kleinkindalter an und bleibt dann im weiteren Kindesalter mit etwa 4:1 konstant. Andere Untersucher fanden im Schulalter Puls-Atem-Quotienten zwischen 4 und 5 (ANDERS 1928, v. ZABERN 1970, MATTHIOLIUS 1971, ZERM 1973).

Fast alle Aussagen über das Verhalten von Puls und Atmung, insbesondere diejenigen über den Puls-Atem-Quotienten, sind bisher durch kurzzeitige Messungen der Puls- und Atemfrequenz, meist in ein- oder mehrstündigen Abständen, gewonnen worden. In der vorliegenden Arbeit sollte versucht werden, mit moderner Methodik, durch eine ununterbrochene elektronische Registrierung von Puls und Atmung während des Nachtschlafes (vergleiche EHRENSTEIN u. Mitarb. 1969, FLOTHO 1969, JOVANOVIĆ 1971, SCHAFFLER u. Mitarb. 1971, ENGEL u. Mitarb. 1972, PÖLLMANN 1972), zunächst die dargestellten Unstimmigkeiten in der Literatur über das Pulsverhalten bei Kindern weiter zu klären. Ferner sollte untersucht werden, ob die vom Erwachsenen bekannte Zusammenordnung von Puls und Atmung bei Schulkindern in gleicher Weise auf ein ganzzahliges Frequenzverhältnis von 4:1 hinzielt. Schließlich sollte geprüft werden, ob sich chronische Beeinträchtigungen des Zentralnervensystems, die nicht gleichzeitig mit Erkrankungen der Herz-Kreislauf- und der Atemorgane einhergehen, in einer charakteristischen Änderung der rhythmischen Funktionsordnung von Puls und Atmung auswirken, nachdem durch Untersuchungen über die Wirkung verschiedener Narkotika auf Puls- und Atemfrequenz (ENGEL u. Mitarb. 1972) belegt ist, daß pharmakologische Beeinflussungen zentralnervöser Strukturen die Frequenz- und Phasenkoordination von Puls und Atmung deutlich verändern können.

## II. Methodik

### 1. Versuchspersonen und Versuchsbedingungen

In 3 Untersuchungsperioden wurden insgesamt 21 Kinder im Alter zwischen 7 und 16 Jahren (Durchschnittsalter 10,9 Jahre) untersucht:

6 Kinder zwischen dem 9.IX. und dem 13.X.1970 im Heil- und Erziehungsinstitut für Seelenpflege-bedürftige Kinder Bingenheim e.V.;

8 Kinder zwischen dem 27.XI. und dem 18.XII.1970 in der Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie der Universität Marburg, Dir. Prof. Dr. Hermann Stutte;

7 Kinder zwischen dem 24.IV. und dem 14.VII.1971 im Privathaus von Herrn Prof. Dr. Gunther Hildebrandt.\*)

Die Kinder des Bingenheimer Institutes und die der psychiatrischen Klinik waren hirngeschädigt und wurden unterteilt in 5 Kinder mit epileptischen Anfällen (Gruppe E) und 8 Kinder ohne epileptische Anfälle (Gruppe O). Eine Ausnahme bildete die Versuchsperson Nr. 19 A.G., die ohne organische Erkrankung wegen Erziehungsschwierigkeiten in die Klinik zur Beobachtung eingewiesen worden war. Die im Hause Prof. Hildebrandt untersuchten 8 Kinder waren gesund (Gruppe G).

Unabhängig von dieser Einteilung wurden für manche Fragestellungen alle Kinder in 3 Altersgruppen zusammengefaßt:

9 Kinder jünger als 10 Jahre (Gruppe I), 5 Kinder zwischen 10 und 12 Jahre (Gruppe II), 7 Kinder von 13 Jahren und älter (Gruppe III).

Tab. 1 gibt eine Übersicht über Alter, Geschlecht, Art der Erkrankung und eventuelle Therapie, Untersuchungsort (Bi. = Bingenheim, Ps. = Psychiatrische Klinik, Hi. = Prof. Hildebrandt) und Zuordnung der Kinder zu den einzelnen Gruppen.

\*) Für die bereitwillige Unterstützung unserer Untersuchungen sind wir den Erziehern und Schwestern der genannten Institutionen sowie Herrn Dr. G. Starke, dem leitenden Arzt des Bingenheimer Instituts, und Herrn Doz. Dr. P. Strunk, Oberarzt der Marburger Kinder- und Jugendpsychiatrischen Klinik, zu großem Dank verpflichtet. Besonders sei auch Frau Dr. G. Hildebrandt an dieser Stelle für ihre tatkräftige Hilfe bei den Untersuchungen in ihrem Haushalt herzlich gedankt.

| Versuchs-<br>person<br>Nr. Name | Alter<br>(Jahre) | Geschlecht<br>w = weibl.<br>m = männl. | Diagnose/Therapie                                                                                              | Unters.-<br>ort | Gruppe |
|---------------------------------|------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|
| 1 M.P.                          | 9,1              | m                                      | Epilepsie, Hemispastik<br>Intracerebr. Cyste<br>3,5 Tabl. Tegretal,<br>3 x 50 mg Neurocil,<br>3 Tabl. Mylepsin | Ps.             | E/I    |
| 2 E.K.                          | 9,6              | w                                      | Grand-Mal-Epilepsie<br>nach Encephalitis<br>3,5 Tabl. Mylepsin                                                 | Bi.             | E/I    |
| 3 P.S.                          | 9,9              | m                                      | Absencen<br>1 Tabl. Phenhydan,<br>0,2 g Luminal abends                                                         | Ps.             | E/I    |
| 4 A.W.                          | 12,6             | w                                      | Grand-Mal-Epilepsie<br>3 Tabl. Mylepsin                                                                        | Ps.             | E/II   |
| 5 R.J.                          | 16,4             | w                                      | Epilepsie<br>3 Tabl. Mylepsin                                                                                  | Ps.             | E/III  |
| 6 W.M.                          | 8,3              | m                                      | Hirnreifungsverzögerung<br>Lippen-Kiefer-Gaumen-Sp.<br>3 x 10 Tr. Atosil<br>Otriven                            | Ps.             | O/I    |
| 7 H.S.                          | 8,4              | m                                      | Perinataler Hirnschaden                                                                                        | Bi.             | O/I    |
| 8 P.R.                          | 9,0              | w                                      | Ataxia teleangiectatica<br>3 x 10 Tr. Atosil,<br>3 Meßbecher Sanostol,<br>3 x 0,5 Tabl. Complamin              | Ps.             | O/I    |
| 9 N.C.                          | 9,4              | m                                      | Perinataler Hirnschaden                                                                                        | Bi.             | O/I    |
| 10 A.M.                         | 10,1             | m                                      | Mongolismus                                                                                                    | Bi.             | O/II   |
| 11 C.W.                         | 11,1             | w                                      | Mongolismus                                                                                                    | Bi.             | O/II   |
| 12 A.W.                         | 12,8             | w                                      | Perinataler Hirnschaden                                                                                        | Bi.             | O/II   |
| 13 K.R.                         | 15,1             | m                                      | Perinataler Hirnschaden<br>fast völlige Blindheit                                                              | Ps.             | O/III  |
| 14 H.H.                         | 7,8              | m                                      |                                                                                                                | Hi.             | G/I    |
| 15 B.D.                         | 8,7              | w                                      |                                                                                                                | Hi.             | G/I    |
| 16 W.H.                         | 12,9             | m                                      |                                                                                                                | Hi.             | G/II   |
| 17 J.G.                         | 13,8             | m                                      |                                                                                                                | Hi.             | G/III  |
| 18 M.D.                         | 14,0             | w                                      |                                                                                                                | Hi.             | G/III  |
| 19 A.G.                         | 14,1             | w                                      |                                                                                                                | Ps.             | G/III  |
| 20 R.G.                         | 14,1             | m                                      |                                                                                                                | Hi.             | G/III  |
| 21 U.H.                         | 15,5             | m                                      |                                                                                                                | Hi.             | H/III  |

Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten Kinder

Die Kinder in Bingenheim und in der Klinik wurden in ihrer gewohnten Umgebung untersucht. Sie schliefen mit anderen, nicht in die Untersuchung einbezogenen Kindern in 2- bis 6-Betten-Zimmern. Die gesunden Kinder kamen abends zur Untersuchung. Sie kannten das Untersuchungszimmer vorher und schliefen allein in diesem Zimmer. Stets wurden die Meßinstrumente den Kindern noch während des Wachens angelegt und erst nach dem Aufwachen wieder entfernt. Die Schlafdauer pro Nacht schwankte zwischen 8 und 12 Stunden (Mittelwert: 9,3 Stunden). Mit dem abendlichen Beginn der Messungen paßten wir uns den gewohnten Einschlafzeiten der Kinder an. Diese lagen zwischen 19<sup>30</sup> Uhr und 22<sup>30</sup> Uhr.

In der Regel erstreckte sich die Untersuchung für jedes Kind über 3 Nächte. Bei manchen Kindern wurden jedoch nur 2 Nächte in die Auswertung einbezogen, wenn offensichtliche Schlafstörungen durch äußere Faktoren, durch die ungewohnte Registrierung oder in zwei Fällen durch eine beginnende fieberhafte Erkrankung auftraten. So umfaßte die Untersuchung insgesamt 61 Nächte, von denen 53 Nächte ausgewertet wurden.

## 2. Untersuchungsmethoden

Puls- und Atemfrequenz wurden vom Einschlafen bis zum Aufwachen fortlaufend mittels elektronischer Zählgeräte (Hersteller: Fa. W. Vogel, Gießen) kontrolliert.

Zur Ableitung eines bipolaren Brustwand-EKGs mit möglichst großer R-Zacke wurden den Kindern 2 in Plastikrahmen gefaßte Silberblechelektroden unter Verwendung von Elektrodencreme (Hersteller: Fa. Hellige, Freiburg) mit Leukoplast-L etwa in Richtung der elektrischen Herzachse auf die Brustwand geklebt. Die eine lag rechts oben, fast in der Axilla, die zweite in der Gegend des Herzspitzenstoßes. Eine weitere Elektrode wurde zur Erdung unterhalb des rechten Rippenbogens befestigt. Da die R-Zacke als Impulsgeber für die Pulszählung diente (vergl. ANDERS 1928, DAUMANN 1965, JOVANOVIĆ 1971, PÖLIMANN 1972 u.a.), wurde vor dem Einschlafen geprüft, ob die gewählten Elektrodenstellungen auch bei den verschiedenen im Schlaf eingenommenen Körperlagen eine eindeutige R-Zacke gewährleisteten (vergl. EINTHOVEN u. Mitarb. 1913).

Gegebenenfalls wurde die Lage der Elektroden unter Kontrolle der EKG-Kurve mit einem Visalux-Gerät (Hersteller: Fa. W. Vogel, Gießen) korrigiert.

Die Atemfrequenz wurde durch 2 kleine, von STORCH (1967) entwickelte Thermoelemente registriert, die in beide Naseneingänge eingeführt wurden, ohne die freie Nasenatmung zu behindern (vergl. HOLZLÖHNER 1937, GOLENHOVEN u. HILDEBRANDT 1958, ADOLPH u. FROMMER 1966, JOVANOVIC 1971, PÖLLMANN 1972 u.a.). Sie waren auf einer der Form des Nasenrückens angepaßten Plastikhalterung befestigt und wurden ebenfalls mit Leukoplast L fixiert. Impulsgeber war der plötzliche Temperaturabfall im Naseneingang durch die bei der Inspiration eingesogene kühlere Außenluft (vergl. PIRLET 1962). Die Verwendung zweier Thermoelemente berücksichtigte den von JÄGER (1970) dargestellten Seitigkeitsrhythmus der Nasenatmung.

Durch die dünnen Ableitkabel von den Elektroden und den Thermoelementen waren die Kinder in ihrer Bewegungsmöglichkeit nicht eingeschränkt. Die Impulse wurden dem stets außerhalb der Kinderzimmer befindlichen Registriergerät zugeleitet und durch einen automatisch arbeitenden Zähler (Hersteller: Fa. Hengstler KG, Aldingen) alle 15 Minuten auf einen Papierstreifen ausgedruckt. Durch diese Anordnung war gewährleistet, daß außer Störungen durch den Betriebslärm insbesondere auch koppelnde Effekte von den pulssynchronen Zählergeräuschen auf die Atmung, wie sie von ENGEL u. Mitarb. (1968) beobachtet wurden, sicher ausgeschaltet waren. Da jeder Einzelimpuls optisch und akustisch am Zählgerät verfolgt werden konnte, war eine Überwachung des störungsfreien Versuchsablaufes außerhalb der Kinderzimmer möglich. Kurzzeitige Störungen, etwa dadurch, daß die Kinder die Nase vorübergehend mit dem Kopfkissen bedeckten oder die Pulszählung bei ganz extremen Schlaflagen eine Zeit lang nicht einwandfrei möglich war, wurden entsprechend vermerkt und bei der Auswertung berücksichtigt. Differenzen der Anzahl gemessener Puls- und Atemfrequenzwerte bei den Versuchspersonen finden dadurch ihre Erklärung.

Die Atemregistrierung erwies sich als deutlich störanfälliger als die Pulsregistrierung: Bei der Atemregistrierung mußten durchschnittlich 8,5% aller ausgedruckten Werte unberücksichtigt bleiben, bei der Pulsregistrierung nur 3,3% aller Werte.

Signifikante Unterschiede in der Häufigkeit der Fehlmessungen zwischen den einzelnen oben erwähnten Alters- und Diagnosegruppen waren nicht nachweisbar.

### 3. Statistische Methodik

Alle Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) wurden arithmetisch bestimmt.  
Die Standardabweichung ( $\sigma$ ) wurde nach der Formel

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$x$  = Einzelmessung  
 $\bar{x}$  = Mittelwert  
 $n$  = Anzahl der Einzelmessungen

berechnet, (HENRYSSON u. Mitarb. 1960), der mittlere Fehler des Mittelwertes ( $\sigma_m$ ) nach der Formel

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Die Differenz von Mittelwerten wurde nach dem t-Test (Student-Verteilung) auf ihre Signifikanz geprüft (Wissenschaftliche Tabellen, DOKUMENTA GEIGY, 7. Aufl. 1968). Formel:

$$t = \frac{D}{\sigma_{mD}} \quad D = \text{Differenz } \bar{x}_1 - \bar{x}_2$$

$$\sigma_{mD} = \sqrt{\sigma_{m1}^2 + \sigma_{m2}^2} \quad \sigma_{m1/2} = \text{mittlere Fehler der Mittelwerte } \bar{x}_1 \text{ und } \bar{x}_2$$

Eine Prüfung auf Normalverteilung wurde mittels Probit-Transformation durchgeführt (Wissenschaftliche Tabellen, DOKUMENTA GEIGY, 7. Aufl. 1968). Zur Konstruktion der angepaßten Probitgeraden verwendeten wir die Formel

$$c + 5 = 5 + \frac{1}{\sigma} (x - \bar{x}); \quad c + 5 = \text{Probit zum Abszissenwert } x.$$

Korrelationen wurden nach der Formel

$$r_{1/2} = \frac{\sum (x_1 - \bar{x}_1) \cdot \sum (x_2 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum (x_1 - \bar{x}_1)^2 \cdot \sum (x_2 - \bar{x}_2)^2}}$$

berechnet und auf ihre Signifikanz direkt anhand der einschlägi-

gen Tabellenwerte (Wissenschaftliche Tabellen, DOKUMENTA GEIGY, 7. Aufl. 1968) geprüft.

Zum Vergleich der Streuungen von Puls- und Atemfrequenz berechneten wir den Variabilitätskoeffizienten (VC) (HENRYSOON u. Mitarb. 1960) nach der Formel

$$VC = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100.$$

Die Streuungen des Puls-Atem-Quotienten verglichen wir dagegen direkt anhand der Standardabweichungen. Dadurch wurde der Tatsache Rechnung getragen, daß wir nach unseren Ergebnissen alle ganzzahligen Quotienten als gleichwertig zu betrachten haben, während bei der Berechnung des VC gleiche Standardabweichungen bei höheren Mittelwerten kleinere Variabilitätskoeffizienten ergeben würden als bei niedrigeren Mittelwerten.

Zum niveauunabhängigen Vergleich der Puls- und Atemfrequenzkurven rechneten wir die Absolutwerte in Prozent des individuellen Gesamtmittelwertes um. Für den Puls-Atem-Quotienten wurden entsprechend alle Werte als Abweichungen vom individuell häufigsten ganzzahligen QPA ausgedrückt.

Zur Ausführung der Rechnung wurde größtenteils ein vorprogrammiertes elektronisches Rechensystem (Sigmatron; Hersteller: Fa. Diehl, Nürnberg) benutzt.

#### 4. Auswertungsverfahren

Insgesamt wurden 1997 15-min-Pulssummen und 1878 15-min-Atemsummen in die Auswertung einbezogen. Aus ihnen wurden folgende Größen berechnet:

a) Puls- und Atemfrequenz:

1. Stundenmittelwerte

Sie ergeben sich durch die stundenweise Zusammenfassung der 15-min-Werte aller Versuchsnächte für jedes Kind.

2. Der individuelle nächtliche Frequenzmittelwert

Er wurde berechnet durch Mittelung aller Stundenmittelwerte einer jeden Versuchsperson.

3. Die Stundenmittelwerte in Prozent der individuellen nächtlichen Mittelwerte

4. Größe und Zeitpunkt des Frequenzminimums

Als mittleres Frequenzminimum ( $P\text{-Min}_{15}$  bzw.  $A\text{-Min}_{15}$ ) wurde für jedes Kind der Mittelwert aus den 15-min-Minima aller Versuchsnächte gebildet. Eine entsprechende Mittelwertbildung für den Zeitpunkt der Frequenzminima war nicht sinnvoll, weil diese Zeitpunkte bei vielen Kindern von Nacht zu Nacht sehr erheblich differierten. Wir werteten deshalb bei diesen Untersuchungen jede Versuchsnacht einzeln.

Für einige Fragestellungen verwendeten wir zusätzlich die Minima der Stundenmittelwert-Kurven ( $P\text{-Min}_{60}$  bzw.  $A\text{-Min}_{60}$ ).

5. Der nächtliche Frequenzabfall

Er ergibt sich für jedes Kind aus der Differenz zwischen dem Mittelwert der höchsten und dem Mittelwert der niedrigsten 15-min-Puls- bzw. -Atemsummen aller Versuchsnächte und wurde in Prozent des individuellen nächtlichen Mittelwertes angegeben ( $\Delta P_{15}$  bzw.  $\Delta A_{15}$ ).

Ein entsprechender Wert wurde auch aus den Stundenmittelwertkurven berechnet als Differenz des Ausgangswertes und des Frequenzminimums ( $\Delta P_{60}$  bzw.  $\Delta A_{60}$ ). Auch dieser Wert wurde in Prozent des nächtlichen Mittelwertes der betreffenden Versuchsperson angegeben.

6. Die Variabilitätskoeffizienten

Zur Ermittlung der intraindividuellen Variabilität wurden für jedes Kind die Standardabweichungen der individuellen Stundenmittelwerte verwendet.

Zur Charakterisierung der interindividuellen Variabilität faßten wir die individuellen Stundenmittelwerte zu Gruppen-Stundenmittelwerten zusammen und verwendeten die entsprechenden Standardabweichungen zur Berechnung des VC.

Alle Frequenzangaben wurden zur besseren Verständigung in Pulsschläge bzw. Atemzüge pro Minute umgerechnet.

#### b) Der Puls-Atem-Quotient

Zu allen 15-Minuten-Summen von Puls und Atmung wurde durch Division der Puls-Atem-Quotient (QPA) bestimmt. Insgesamt ergaben sich 1820 QPA-Werte. Die Differenz zur Anzahl der Puls- und Atemfrequenzwerte erklärt sich daraus, daß ein Teil der Registrierstörungen nicht beide Funktionen gleichzeitig betraf. Die gewonnenen QPA-Werte wurden zu folgenden Untersuchungen verwendet:

##### 1. Häufigkeitsverteilung der Quotienten

Dazu wurde eine Klassenbreite von 0,20 in der Weise zugrunde gelegt, daß z.B. die Klasse 4,0 alle Werte von 3,91 bis 4,10 enthält.

2. Anteil und zeitliche Verteilung der ganzzahligen Quotienten  
Als ganzzahlig betrachteten wir im Hinblick auf die allgemeine biologische Variabilität alle Quotienten im Bereich von  $\pm 0,10$  um die exakt ganzzahligen Werte. In der Häufigkeitsverteilung entsprechen also die Klassen der ganzzahligen Werte nicht ganz dieser Definition (z.B. enthält die Klasse 4,0 nicht den Wert 3,90).

##### 3. Mittleres QPA-Niveau während der Nacht

Dieses wurde charakterisiert durch den nächtlichen QPA-Mittelwert ( $\overline{\text{QPA}}$ ). Außerdem berücksichtigten wir die häufigste QPA-Klasse und den individuell häufigsten ganzzahligen Wert. Der nächtliche QPA-Mittelwert wurde, wie bei Puls- und Atemfrequenz, durch Mittelung aller Stundenmittelwerte jeder Versuchsperson errechnet.

##### 4. Mittleres Verhalten des QPA im Verlaufe der Nacht

Dieses wurde anhand der Stundenmittelwerte beurteilt, welche

durch stundenweise Zusammenfassung aller Versuchsnächte für jedes Kind errechnet wurden.

5. Abweichungen der QPA-Mittelwerte vom individuell häufigsten ganzzahligen Wert während der Nacht

Für die gruppenweise Zusammenfassung der Werte verwendeten wir wegen des von Kind zu Kind sehr unterschiedlichen Kurvenverlaufes die absoluten Abweichungen ohne Berücksichtigung des Vorzeichens.

6. Intraindividuelle Streuung, ausgedrückt durch die Standardabweichungen der individuellen Stundenmittelwerte, und interindividuelle Streuung, ausgedrückt durch die Standardabweichungen der entsprechenden Gruppen-Stundenmittelwerte (vergl. Statistische Methodik, S. 10).

### III. Ergebnisse

#### 1. Das Verhalten der Pulsfrequenz

##### a) Die Stundenmittelwerte

Abb. 1 zeigt anhand der Stundenmittelwerte das mittlere Verhalten der Pulsfrequenz im Verlaufe der Nacht. Der unterschiedliche Beginn der Kurven, je nach Gruppe mit dem 21<sup>00</sup>- oder dem 22<sup>00</sup>-Uhr-Wert, beruht auf den unterschiedlichen Einschlafzeiten der Kinder.

Abb. 1a faßt alle gemessenen Werte zwischen 20<sup>30</sup> und 6<sup>30</sup> Uhr zusammen. Die durchschnittliche Pulsfrequenz der untersuchten Kinder fällt während der Nacht zunächst kontinuierlich ab und beginnt nach 3<sup>00</sup> Uhr wieder deutlich anzusteigen. Die Zusammenfassung der Mittelwerte nach den drei Altersgruppen (Abb. 1b) läßt eine deutliche Verminderung der Frequenzlage mit zunehmendem Alter der Kinder erkennen. Die Unterschiede nehmen im Verlauf der Nacht zu und sind zur Zeit der Pulsminima, zwischen 3<sup>00</sup> und 4<sup>00</sup> Uhr, am größten. Diese Altersabhängigkeit der Pulsfrequenz muß bei der Beurteilung der Abb. 1c berücksichtigt werden. Die Unterschiede zwischen den Diagnose-Gruppen E, O und G sind sicher z.T. durch ihre unterschiedliche Altersstruktur bedingt (vergl. Tab. 1). Dennoch kommen davon unabhängige Unterschiede des Kurvenverlaufes zur Darstellung. So beginnen alle Kurven etwa im selben Frequenzbereich. Die gesunden Kinder (Gr. G) zeigen ungefähr die vom Erwachsenen bekannte Verlaufsform ihrer Pulsfrequenzkurve. Auch die Gruppe O verhält sich ähnlich, allerdings mit auffällig geringem Frequenzabfall während der Nacht. Die Gruppe der Epileptiker (Gr. E) zeigt dagegen einen deutlich verspäteten Abfall der Pulsfrequenz, wobei auch formale Verlaufsunterschiede zu anderen Gruppen hervortreten.

##### b) Der individuelle nächtliche Frequenzmittelwert

Tabelle 2 enthält die nächtlichen Pulsfrequenz-Mittelwerte aller Kinder. Sie schwanken zwischen 65,2 P/min und 100,8 P/min.

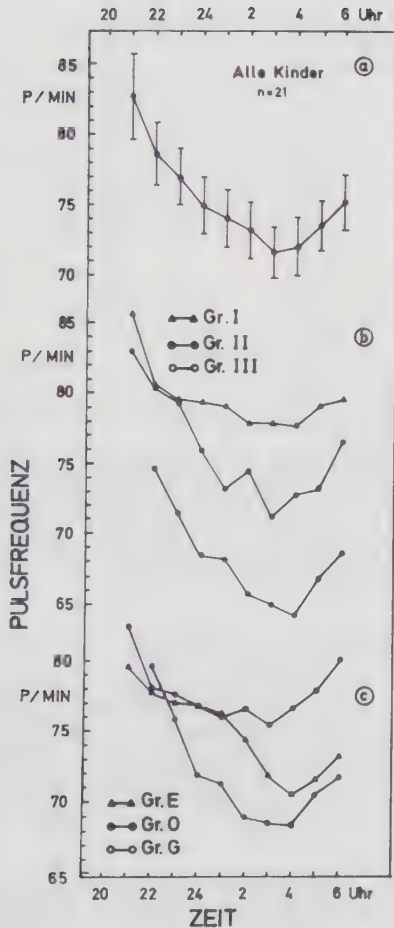


Abb. 1: Mittlerer Verlauf der Stundenmittelwerte der Pulsfrequenz bei allen Kindern (a), in den Altersgruppen (b) sowie in den Diagnosegruppen (c). Die Klammern bezeichnen den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte.

| VP | $\bar{P}$ | P-Min <sub>15</sub> | $\Delta P_{15}$ | VP | $\bar{P}$ | P-Min <sub>15</sub> | $\Delta P_{15}$ |
|----|-----------|---------------------|-----------------|----|-----------|---------------------|-----------------|
| 1  | 86,89     | 76,30               | 31,73           | 12 | 88,31     | 75,40               | 31,68           |
| 2  | 80,25     | 65,07               | 35,85           | 13 | 66,84     | 61,47               | 21,15           |
| 3  | 65,21     | 55,69               | 34,43           | 14 | 85,49     | 75,89               | 32,49           |
| 4  | 77,73     | 65,27               | 41,77           | 15 | 78,50     | 71,09               | 20,38           |
| 5  | 66,55     | 55,13               | 34,86           | 16 | 68,35     | 61,47               | 20,74           |
| 6  | 78,04     | 68,70               | 35,66           | 17 | 66,55     | 58,82               | 33,06           |
| 7  | 73,50     | 65,33               | 27,42           | 18 | 68,94     | 58,40               | 38,92           |
| 8  | 100,82    | 92,30               | 21,06           | 19 | 73,87     | 66,27               | 27,48           |
| 9  | 74,02     | 64,13               | 50,07           | 20 | 68,48     | 61,43               | 25,12           |
| 10 | 78,92     | 67,73               | 34,84           | 21 | 65,74     | 57,09               | 37,25           |
| 11 | 68,78     | 57,63               | 39,84           |    |           |                     |                 |

Tabelle 2: Übersicht über den individuellen nächtlichen Pulsfrequenzmittelwert ( $\bar{P}$ ) und das durchschnittliche nächtliche Pulsfrequenzminimum (P-Min<sub>15</sub>) aller Kinder, Angaben jeweils in P/min, sowie den durchschnittlichen nächtlichen Pulsfrequenzabfall ( $\Delta P_{15}$ ), ausgedrückt als Prozentsatz von  $\bar{P}$ .

| Gruppe | $\bar{P} \pm \sigma_m$ | P-Min <sub>15</sub> $\pm \sigma_m$ | T <sub>P-Min</sub> $\pm \sigma_m$ |
|--------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| I      | 80,30 $\pm$ 3,36       | 70,50 $\pm$ 3,85                   | 2 <sup>46</sup> Uhr $\pm$ 25 min  |
| II     | 76,42 $\pm$ 3,96       | 65,50 $\pm$ 3,00                   | 3 <sup>15</sup> Uhr $\pm$ 37 min  |
| III    | 68,14 $\pm$ 1,05       | 59,80 $\pm$ 1,37                   | 3 <sup>00</sup> Uhr $\pm$ 32 min  |
| E      | 75,32 $\pm$ 4,13       | 63,49 $\pm$ 3,87                   | 3 <sup>55</sup> Uhr $\pm$ 30 min  |
| O      | 78,65 $\pm$ 3,94       | 69,09 $\pm$ 3,80                   | 2 <sup>05</sup> Uhr $\pm$ 29 min  |
| G      | 71,99 $\pm$ 2,43       | 63,81 $\pm$ 2,37                   | 3 <sup>14</sup> Uhr $\pm$ 25 min  |
| Alle   | 75,32 $\pm$ 2,03       | 65,74 $\pm$ 1,93                   | 2 <sup>58</sup> Uhr $\pm$ 17 min  |

Tabelle 3: Durchschnittlicher nächtlicher Pulsfrequenzmittelwert ( $\bar{P}$ ), durchschnittliches nächtliches Pulsfrequenzminimum (P-Min<sub>15</sub>), Angaben jeweils in P/min, sowie der durchschnittliche Zeitpunkt dieses Minimums (T<sub>P-Min</sub>), berechnet für die einzelnen Alters- und Diagnose-Gruppen sowie für das Gesamtkollektiv.

Aus Tabelle 3 lassen sich die durchschnittlichen nächtlichen Pulsfrequenzwerte der einzelnen Gruppen entnehmen. Nur zwischen den Gruppen I und III lassen sich die Differenzen statistisch sichern ( $p < 0,005$ ). Dem entspricht, wie schon nach der Abb. 1b zu erwarten, eine negative Korrelation zwischen Puls-mittelwert und Lebensalter der Kinder. Wie die Ergebnisse der Tabelle 4 zeigen, ist diese Korrelation nur bei den gesunden Kindern und bei Zusammenfassung aller Kinder signifikant. Offenbar wird also bei den kranken Kindern die normale Alters-abhängigkeit der Pulsfrequenz durch andere Faktoren störend beeinflusst.

| Gruppe | Korrelation<br>$\bar{P}$ /Lebensalter | p-Wert     | Korrelation<br>$P\text{-Min}_{15}$ /Lebensalter | p-Wert     |
|--------|---------------------------------------|------------|-------------------------------------------------|------------|
| E      | $r = -0,55$                           | $p > 0,1$  | $r = -0,57$                                     | $p > 0,1$  |
| O      | $r = -0,29$                           | $p > 0,1$  | $r = -0,26$                                     | $p > 0,1$  |
| G      | $r = -0,91$                           | $p < 0,01$ | $r = -0,91$                                     | $p < 0,01$ |
| Alle   | $r = -0,58$                           | $p < 0,01$ | $r = -0,56$                                     | $p < 0,01$ |

Tabelle 4: Übersicht über die Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen individuellem nächtlichen Puls-mittelwert ( $\bar{P}$ ) bzw. durchschnittlichem nächtlichen Pulsminimum ( $P\text{-Min}_{15}$ ) und dem Lebensalter, berechnet für die Diagnosegruppen sowie für das Gesamtkollektiv.

### c) Niveauunabhängiger Vergleich der Frequenzverläufe

Um den Kurvenverlauf unabhängig von dem altersbedingt ver-schiedenen Frequenzniveau der Kinder beurteilen zu können, zeigt Abb. 2 den mittleren Verlauf der Stundenmittelwerte nach Umrech-nung in Prozent des individuellen nächtlichen Mittelwertes.

Abb. 2a gibt die Zusammenfassung aller Versuchspersonen. Der Kurvenverlauf entspricht dem der Abb. 1a, jedoch sind die mittleren Fehler der Stundenmittelwerte deutlich kleiner.

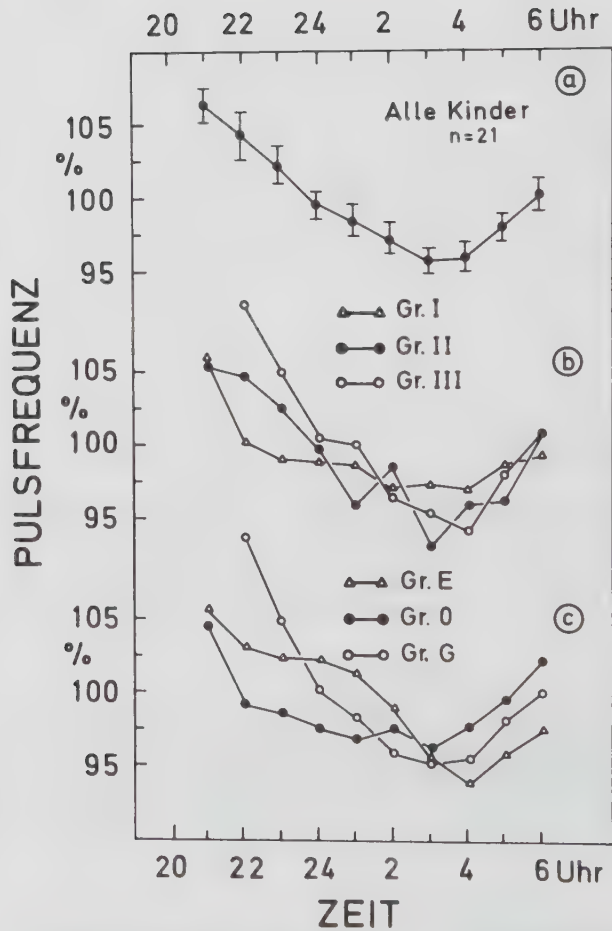


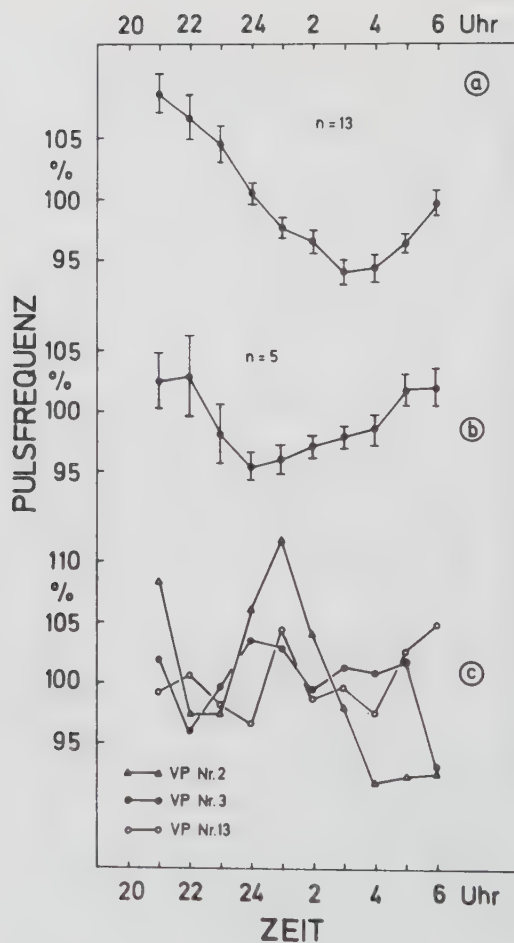
Abb. 2: Mittlerer Verlauf der Stundenmittelwerte der Pulsfrequenz nach Umrechnung in Prozent des individuellen nächtlichen Mittelwertes bei allen Kindern (a), in den Altersgruppen (b) sowie in den Diagnosegruppen (c). Die Klammern bezeichnen den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte.

Demnach sind also die interindividuellen Unterschiede der Verlaufsform geringer als die Unterschiede im Frequenzniveau. Bei Aufteilung in die Altersgruppen (Abb. 2b) ergeben sich drei einander ähnliche Kurven. Das Lebensalter der Kinder scheint also auf die Form des Kurvenverlaufs einen viel geringeren Einfluß zu haben als auf das Frequenzniveau. Die Abb. 2c läßt die Unterschiede zwischen den Diagnosegruppen, die bereits in Abb. 1c hervortraten, noch wesentlich deutlicher werden. Die Kurve der Epileptiker zeigt einen stark verspäteten und entsprechend bis in den frühen Morgen anhaltenden Abfall der Pulsfrequenz. Die Kurve der Gruppe O fällt durch den nur geringen Abfall mit einem ersten Minimum um 1<sup>00</sup> Uhr auf; die der Gruppe G entspricht wiederum am ehesten dem vom Erwachsenen bekannten Verhalten.

Bei Durchsicht der Kurven aller Kinder schien noch ein weiteres Gliederungsmerkmal wichtig (Abb. 3): Abb. 3a faßt alle Kinder zusammen, deren Pulsminimum P-Min<sub>60</sub> (vergl. S. 11) um 2<sup>00</sup> Uhr oder später lag, Abb. 3b alle Kinder, deren Minimum früher als 2<sup>00</sup> Uhr lag. Abb. 3c zeigt die Kurven dreier Kinder, die durch ihr atypisches Pulsverhalten im Sinne einer mehrwelligen Verlaufsform in die beiden oben genannten Gruppen nicht eingeordnet werden konnten.

Aus Tabelle 5 geht die Zuordnung der Kinder zu den Gruppen mit frühem oder spätem Pulsminimum hervor. Es zeigte sich, daß ein Pulsminimum vor 2<sup>00</sup> Uhr sehr viel seltener vorkam als ein spätes Pulsminimum, und zwar vorwiegend bei den jüngeren Kindern der Altersgruppe I. Da weiterhin ein frühes Pulsminimum praktisch ebenso oft bei gesunden Kindern wie bei kranken Kindern vorkam, scheint für die zeitliche Lage des Minimums eher das Lebensalter verantwortlich zu sein, was auch der Erwartung entspräche (vergl. HELLBRÜGGE u. Mitarb. 1956). Das mittlere Lebensalter der Kinder mit frühem Pulsminimum ( $10,7 \pm 1,2$  Jahre) und der Kinder mit spätem Pulsminimum ( $11,9 \pm 0,8$  Jahre) differierte allerdings nicht signifikant und auch der Korrelationskoeffizient für die Abhängigkeit der Zeit des Minimums vom Lebensalter ist nur sehr schwach positiv (alle Kinder:  $r = +0,13$ ).

Die drei Kurven mit nicht einzuordnendem Pulsverhalten betreffen nur kranke Kinder. Es ist daran zu denken, daß die Kurvenverläufe durch eine Überlagerung der tagesrhythmischen Periodik durch kurzwelligere, gedämpft ausklingende, reaktive Perioden zustande kommen könnten (vergl. HILDEBRANDT 1962b), wie sie bei den verschiedensten Störungen der rhythmischen Koordination vorkommen (vergl. auch MENZEL 1956).



**Abb. 3:** Mittlerer Verlauf der relativen Stundenmittelwerte der Pulsfrequenz bei Aufteilung der Kinder in eine Gruppe mit spätem Pulsfrequenzminimum (a) und eine andere Gruppe mit frühem Pulsfrequenzminimum (b). Im unteren Teil (c) sind die individuellen Verlaufskurven dreier Kinder dargestellt, deren Pulsverhalten sich in die beiden obigen Gruppen nicht einordnen ließ (vergl. Tab. 5).

|                                                | Versuchsperson Nr. |                     |                       |
|------------------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
|                                                | Gruppe E           | Gruppe O            | Gruppe G              |
| Frühes Pulsminimum<br>n = 5                    | -/-                | 7,9                 | 15, 16, 20            |
| Spätes Pulsminimum<br>n = 13                   | 1, 4, 5            | 6, 8, 10,<br>11, 12 | 14, 17, 18,<br>19, 21 |
| Mehrwelliger Puls-<br>frequenzverlauf<br>n = 3 | 2, 3               | 13                  |                       |
|                                                | Gruppe I           | Gruppe II           | Gruppe III            |
| Frühes Pulsminimum<br>n = 5                    | 7, 9, 15           | 16                  | 20                    |
| Spätes Pulsminimum<br>n = 13                   | 1, 6, 8,<br>14     | 4, 10, 11,<br>12    | 5, 17, 18,<br>19, 21  |
| Mehrwelliger Puls-<br>frequenzverlauf<br>n = 3 | 2, 3               | -/-                 | 13                    |

Tabelle 5: Übersicht über die Zuordnung der Kinder aus den drei Alters- bzw. Diagnosegruppen entsprechend der zeitlichen Lage ihrer Pulsfrequenzminima (P-Min<sup>60</sup>) zu einer Gruppe mit frühem Pulsminimum (Minimum früher als 2<sup>00</sup> Uhr) und einer Gruppe mit spätem Pulsminimum (Minimum um 2<sup>00</sup> Uhr und später). Drei Kinder konnten diesen beiden Gruppen auf Grund eines mehrwelligen Pulsfrequenzverlaufes nicht zugeordnet werden.

#### d) Die Minima

Tabelle 2 (S. 16) enthält die individuellen durchschnittlichen Pulsminima ( $P\text{-Min}_{15}$ ) aller Versuchspersonen, die in Tabelle 3 zu Gruppendurchschnittswerten zusammengefaßt sind. Wie schon bei den nächtlichen Pulsmittelwerten lassen sich die Differenzen nur zwischen den Altersgruppen I und III statistisch sichern ( $p < 0,025$ ). Diese Differenz war wegen der Altersabhängigkeit der Pulsfrequenz zu erwarten. Ihr entsprechen die in Tabelle 4 (S. 17) zusammengestellten Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Lebensalter und Größe des Pulsminimums. Wie schon bei den nächtlichen Pulsmittelwerten läßt sich die lineare Abhängigkeit nur für die gesunden Kinder bzw. für die Zusammenfassung aller Kinder statistisch sichern. Offenbar wird bei Zusammenfassung der Kinder in die Diagnosegruppen E, O und G die Altersabhängigkeit der Pulsfrequenz durch die Merkmale der Gruppen E und O gestört.

Um dies näher zu untersuchen, berechneten wir die Abweichung des durchschnittlichen Pulsminimums jedes Kindes vom zugehörigen Altersgruppenmittelwert ( $\Delta P\text{-Min}$ ), ausgedrückt in Prozent des Altersgruppenmittelwertes (Tabelle 6). Legt man z.B. eine Abweichung von 7% als Trennkriterium zugrunde, so zeigt sich, daß stärkere Abweichungen vom Altersgruppenmittelwert bei den kranken Kindern viel häufiger vorkommen als bei den gesunden Kindern:

- Gruppe E: Abweichungen  $> 7\%$  bei 4 von 5 Kindern (80%),
- Gruppe O: Abweichungen  $> 7\%$  bei 5 von 8 Kindern (63%),
- Gruppen E + O: Abweichungen  $> 7\%$  bei 9 von 13 Kindern (69%),
- Gruppe G: Abweichungen  $> 7\%$  bei 2 von 6 Kindern (25%).

Die Abb. 4 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der 15-min-Pulsminima über die Nacht, und zwar im oberen Teil für alle Kinder gemeinsam. Dabei liegen 74% der Pulsminima in der zweiten Nachthälfte (ab 2<sup>00</sup> Uhr), am häufigsten finden sie sich in der Zeit von 2<sup>30</sup> bis 4<sup>30</sup> Uhr. In der linken Spalte der Abb. 4, die die Minimaverteilungen nach den Altersgruppen getrennt zeigt, fällt auf, daß das Häufigkeitsmaximum bei der Gruppe II sehr flach ist. Es liegt im übrigen auch bei dieser feineren zeitli-

| VP | $\Delta$ P-Min | VP | $\Delta$ P-Min |
|----|----------------|----|----------------|
| 1  | 8,23           | 12 | 15,11          |
| 2  | 7,71           | 13 | 2,78           |
| 3  | 26,60          | 14 | 7,64           |
| 4  | 0,36           | 15 | 0,83           |
| 5  | 7,81           | 16 | 6,16           |
| 6  | 2,55           | 17 | 1,64           |
| 7  | 7,33           | 18 | 2,34           |
| 8  | 30,92          | 19 | 10,81          |
| 9  | 9,03           | 20 | 2,73           |
| 10 | 3,41           | 21 | 4,54           |
| 11 | 12,01          |    |                |

Tabelle 6: Übersicht über die Abweichungen des durchschnittlichen Pulsminimums aller Versuchspersonen vom zugehörigen Altersgruppenmittelwert ( $\Delta$  P-Min), ausgedrückt in Prozent des Altersgruppenmittelwertes.

| Gruppe | $\Delta P_{15} \pm \sigma_m$ | Gruppe | $\Delta P_{15} \pm \sigma_m$ |
|--------|------------------------------|--------|------------------------------|
| I      | $32,34 \pm 3,00$             | E      | $36,13 \pm 1,63$             |
| II     | $33,77 \pm 3,72$             | O      | $32,72 \pm 3,44$             |
| III    | $31,12 \pm 2,51$             | G      | $29,43 \pm 2,51$             |
| Alle   | $32,28 \pm 1,70$             |        |                              |

Tabelle 7: Durchschnittlicher nächtlicher Pulsfrequenzabfall ( $\Delta P_{15}$ ) in Prozent des individuellen nächtlichen Frequenzmittelwertes, berechnet für die verschiedenen Alters- und Diagnosegruppen sowie für das Gesamtkollektiv.

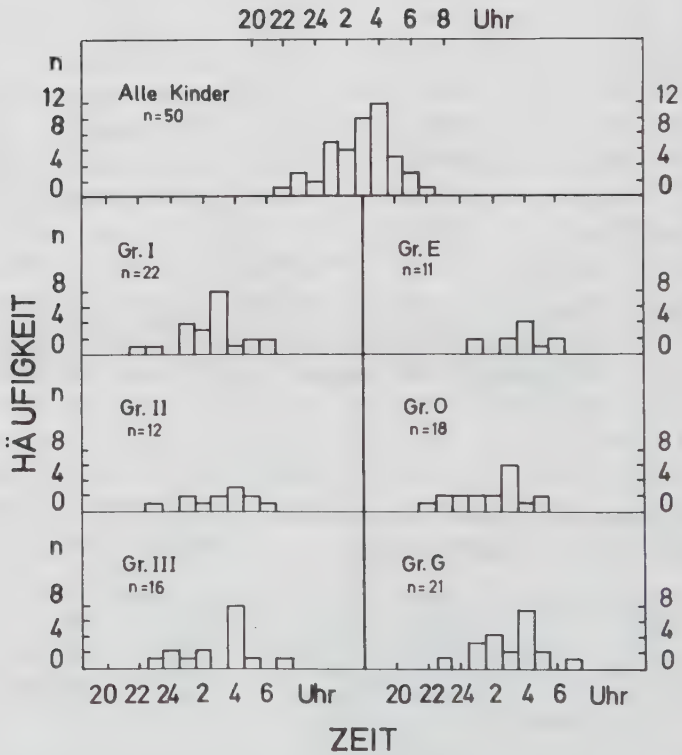


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der 15-min-Pulsminima ( $P-Min_{15}$ ) über die Nacht, dargestellt für alle Kinder gemeinsam (oben), für die Altersgruppen (linke Spalte) sowie die Diagnosegruppen (rechte Spalte).

chen Differenzierung für die jüngeren Kinder (Gr. I: 3<sup>00</sup> Uhr) etwas früher als bei den älteren (Gr. II, Gr. III: 4<sup>00</sup> Uhr), jedoch läßt sich auch hier eine lineare Altersabhängigkeit nicht sichern (alle Kinder:  $r = +0,08$ ). In der rechten Spalte der Abb. 4 mit Aufteilung nach Diagnosegruppen ist das gehäufte Vorkommen früher Pulsminima in der Gruppe O bemerkenswert. Auch in den in Tab. 3 (S. 16) enthaltenen durchschnittlichen Zeiten der Pulsminima in den verschiedenen Gruppen kommt dies zum Ausdruck. Die Differenz zwischen den Gruppen E und O läßt sich statistisch sichern ( $p < 0,02$ ); die Differenzen zwischen den anderen Gruppen sind dagegen signifikant.

Um zu prüfen, ob eine Abhängigkeit zwischen dem Zeitpunkt der Pulsminima und dem individuellen Frequenzniveau besteht, berechneten wir die Korrelationen zwischen dem Zeitpunkt der Pulsminima und deren absolutem Wert einerseits sowie dem nächtlichen Pulsmittelwert andererseits. Dabei legten wir sowohl die einzelnen 15-min-Minima ( $P\text{-Min}_{15}$ ) als auch die Minima der Stundenmittelwertkurven zugrunde ( $P\text{-Min}_{60}$ ). Mit der absoluten Größe des Pulsminimums war sein Zeitpunkt bei keiner Gruppe korreliert. Zum nächtlichen Mittelwert ergaben sich engere Korrelationen nur für die Gruppe O, dabei war der Koeffizient nur bei Verwendung der 15-min-Minima statistisch signifikant ( $r = +0,77$ ;  $p < 0,05$ ).

Eine recht enge Korrelation errechnete sich auch zwischen dem Zeitpunkt des Pulsminimums und dem Ausmaß des Frequenzabfalls während der Nacht bei den gesunden Kindern (Gr. G), wenn wir die Stundenmittelwertkurven zugrundelegten ( $\Delta P_{60}$ ):  $r = +0,95$ ;  $p < 0,001$ . Dagegen waren die Korrelationskoeffizienten für die Gruppen E und O sehr viel kleiner, für die Epileptiker ergab sich sogar eine schwach negative Korrelation (Gr. E:  $r = -0,19$ ; Gr. O:  $r = +0,26$ ). Auch bei Verwendung der 15-min-Pulswerte (vergl. Tabelle 7, S. 23) errechnete sich für die Gruppe G die engste Korrelation ( $r = +0,51$ ), jedoch war dieser Koeffizient bei der kleinen Gruppe nicht signifikant.

e) Der nächtliche Pulsfrequenzabfall

Tabelle 2 (S. 16) enthält, ausgehend von den 15-min-Pulssummen, den durchschnittlichen nächtlichen Pulsfrequenzabfall ( $\Delta F_{15}$ ) jedes Kindes, aus Tabelle 7 (S. 23) sind die entsprechenden Gruppenmittelwerte zu ersehen.

Im Durchschnitt aller Kinder ergibt sich ein nächtlicher Pulsabfall von  $30,28 \pm 1,70$  Prozent des individuellen nächtlichen Pulsmittelwertes. Ein Vergleich der Diagnosegruppen E, O und A zeigt, daß der Pulsabfall der gesunden Kinder am geringsten ist, jedoch ist nur die Differenz zur Gruppe der Epileptiker, die den größten Pulsabfall aufweist, statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ). Die Altersgruppen unterscheiden sich hinsichtlich ihres durchschnittlichen Pulsabfalls praktisch nicht. Dem entspricht ein Korrelationskoeffizient für die Beziehung Lebensalter nächtlicher Pulsabfall von  $r = -0,04$  (alle Kinder).

Unter Inbegründlegung der Stundenmittelwertkurven ergeben sich naturgemäß geringere Pulsfrequenzabfälle ( $\Delta F_{60}$ ), im Durchschnitt liegt das Pulsfrequenzminimum dann um  $16,90 \pm 1,74$  Prozent niedriger als der Ausgangswert, und signifikante Differenzen zwischen den einzelnen Gruppen bestehen nicht mehr.

Für die individuelle Beziehung zwischen durchschnittlichem höchstem Pulsfrequenzwert und durchschnittlichem nächtlichen Pulsfrequenzabfall ( $\Delta F_{15}$ ) ergibt sich bei Zusammenfassung aller Kinder eine signifikante positive Korrelation ( $r = +0,59$ ;  $p < 0,01$ ). Die Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Gruppen liegen in derselben Reihenordnung, sind jedoch bei der geringen Zahl der Kinder in keiner Gruppe signifikant. Eine entsprechende Beziehung zwischen Ausgangswert und nächtlichem Pulsabfall wird noch deutlicher, wenn man statt der 15-min-Pulswerte die Stundenmittelwerte zugrundelegt. Für alle Kinder errechnet sich dann ein Korrelationskoeffizient von  $r = +0,75$  ( $p < 0,001$ ).

f) Die Variabilität

Abb. 5 zeigt das durchschnittliche Verhalten der intraindividuellen Pulsfrequenz-Änderung während der Nacht anhand der

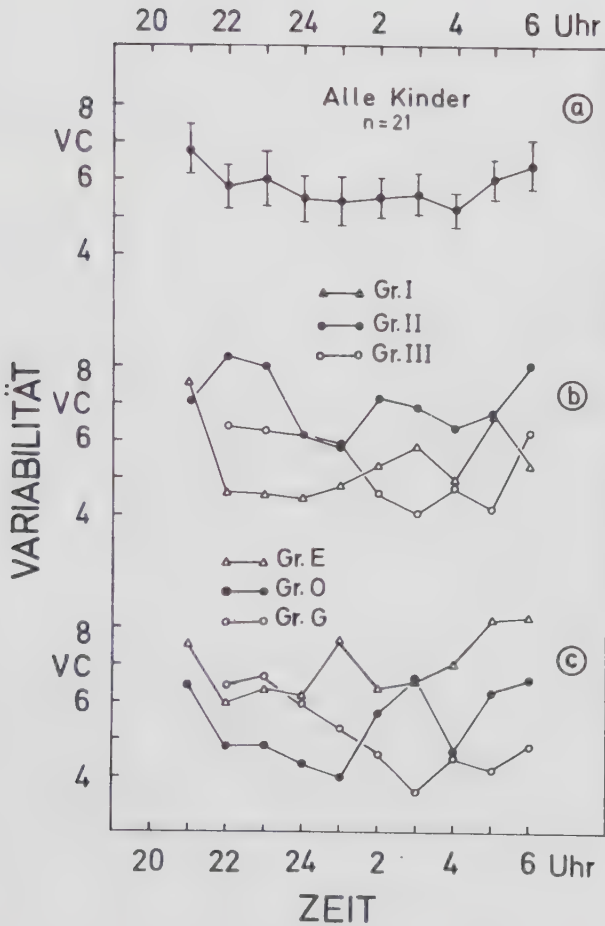


Abb. 5: Mittlerer Verlauf der Stundenmittelwerte der Koeffizienten der intraindividuellen Pulsfrequenz-Variabilität (VC) bei allen Kindern (a), in den Altersgruppen (b) sowie in den Diagnosegruppen (c). Die Klammern bezeichnen den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte.

entsprechenden Variabilitätskoeffizienten  $VC_1$ . Bei Zusammenfassung aller Kinder (Abb. 5a) ergibt sich ein recht gleichmäßiger Verlauf mit einem fortschreitend schwächer werdenden Abfall bis zu einem Minimum um 4<sup>00</sup> Uhr und nachfolgendem Wiederanstieg. Bei Aufteilung in die Altersgruppen wird der Kurvenverlauf sehr viel unruhiger. Nur Gruppe III zeigt einen Gang der Pulsfrequenzvariabilität, der etwa dem der mittleren Pulsfrequenz selber entspricht, mit einer Abnahme im ersten Teil der Nacht und einer Zunahme nach dem Minimum um 3<sup>00</sup> Uhr. Bei der Gruppe II liegt das Minimum bereits um 1<sup>00</sup> Uhr, bei der Gruppe I sogar schon um 24<sup>00</sup> Uhr, in beiden Gruppen ist also die Pulsfrequenzvariabilität zur Zeit der entsprechenden Pulsfrequenzminima schon wieder zu erheblichen Werten angestiegen. Zwischen dem Zeitpunkt der geringsten Pulsfrequenzvariabilität und dem Lebensalter errechnet sich eine schwach positive Korrelation (alle Kinder:  $r = +0,43$ ;  $p < 0,05$ ). Bei Aufteilung in die Diagnosegruppen wird deutlich, daß nur bei den gesunden Kindern die Variabilität während der Nacht etwa parallel zur Pulsfrequenz selber abfällt. Die Gruppen E und O zeigen dagegen sehr frühe Streuungsminima (Gr. E: 22<sup>00</sup> Uhr; Gr. O: 1<sup>00</sup> Uhr) und dadurch, besonders deutlich die Gruppe E, eine im ganzen ansteigende Tendenz der Pulsfrequenzvariabilität während der Nacht.

Das Verhalten der Variabilitätskoeffizienten bei den Gruppen der kranken Kinder ähnelt dem Verhalten bei den Altersgruppen I und II. Andererseits ähneln sich die Kurven der Gruppen G und III, wobei die Altersgruppe III diejenige mit den wenigsten kranken Kindern ist. Es liegt deshalb nahe, anzunehmen, daß die "Unruhe" in den Kurven der jüngeren Kinder (Gr. I und II) durch die in diesen Gruppen enthaltenen Kranken bedingt ist. Ein Hinweis für eine Alteration des gewöhnlichen Pulsfrequenzverhaltens bei den kranken Kindern ergibt sich auch aus den Zeitdifferenzen zwischen dem Pulsfrequenzminimum und dem Minimum der Pulsvariabilität bei den einzelnen Kindern. So fanden sich Differenzen von mehr als einer Stunde deutlich häufiger bei den kranken als bei den gesunden Kindern, wohingegen eine Aufteilung der Kinder in die Altersgruppen keine so großen Unterschiede ergab:

Gruppe E: Differenzen  $> 1$  h bei 4 von 5 Kindern (80%)  
Gruppe O: Differenzen  $> 1$  h bei 5 von 8 Kindern (63%)  
Gruppen E + O: Differenzen  $> 1$  h bei 9 von 13 Kindern (69%)  
Gruppe G: Differenzen  $> 1$  h bei 2 von 8 Kindern (25%)

Gruppe I: Differenzen  $> 1$  h bei 6 von 9 Kindern (67%)  
Gruppe II: Differenzen  $> 1$  h bei 2 von 5 Kindern (40%)  
Gruppe III: Differenzen  $> 1$  h bei 3 von 7 Kindern (43%)

In Tabelle 8 sind die durchschnittlichen Variabilitätskoeffizienten  $VC_1$  der verschiedenen Gruppen enthalten. Bei Zusammenfassung aller Kinder ergibt sich ein durchschnittlicher  $VC_1$  von  $5,80 \pm 0,16$ . Die Epileptiker haben eine signifikant höhere intraindividuelle Pulsfrequenzvariabilität als die anderen kranken und als die gesunden Kinder ( $p < 0,005$ ), ebenso die Kinder der Altersgruppen II gegenüber den anderen Altersgruppen ( $p < 0,005$ ). Da in der Gruppe II nur ein epileptisches Kind enthalten ist (VP Nr. 4) und dieses einen durchschnittlichen  $VC_1$  von  $6,97 \pm 0,75$  aufweist, muß die hohe intraindividuelle Pulsstreuung dieser Gruppe mit dem Alter der Kinder zusammenhängen.

Tabelle 8 enthält außerdem die Variabilitätskoeffizienten  $VC_2$  als Ausdruck der interindividuellen Streuung. Die interindividuelle Pulsfrequenzvariabilität der gesunden Kinder ist signifikant geringer als die der beiden Gruppen kranker Kinder ( $p < 0,001$ ). Außerdem nimmt die Variabilität mit zunehmendem Alter ab, wobei sich die  $VC_2$ -Werte der Gruppen I, II und III sämtlich auf dem 0,001-Signifikanzniveau von einander unterscheiden.

Schließlich ist die interindividuelle Variabilität des Pulses sowohl bei Zusammenfassung aller Kinder als auch im Mittel der einzelnen Gruppen durchweg wesentlich größer als die intraindividuelle Variabilität ( $p < 0,001$ ). Lediglich bei den ältesten Kindern der Gruppe III hat die interindividuelle Streuung so abgenommen, daß sie von gleicher Größenordnung wie die intraindividuelle Streuung ist.

| Gruppe | Intraindividuelle<br>Variabilität, $VC_1$ | Interindividuelle<br>Variabilität, $VC_2$ |
|--------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| I      | 5,41 $\pm$ 0,32                           | 15,41 $\pm$ 0,50                          |
| II     | 6,97 $\pm$ 0,27                           | 11,09 $\pm$ 0,64                          |
| III    | 5,38 $\pm$ 0,33                           | 5,64 $\pm$ 0,48                           |
| E      | 7,08 $\pm$ 0,27                           | 13,01 $\pm$ 0,47                          |
| O      | 5,48 $\pm$ 0,32                           | 14,55 $\pm$ 0,49                          |
| G      | 5,17 $\pm$ 0,35                           | 9,40 $\pm$ 0,19                           |
| Alle   | 5,80 $\pm$ 0,16                           | 12,61 $\pm$ 0,28                          |

Tabelle 8: Übersicht über die Koeffizienten der durchschnittlichen intraindividuellen und interindividuellen Pulsfrequenzvariabilität mit ihren mittleren Fehlern, berechnet für die Alters- und Diagnosegruppen sowie für das Gesamtkollektiv.

## 2. Das Verhalten der Atemfrequenz

### a) Die Stundenmittelwerte

Abb. 6 zeigt anhand der Stundenmittelwerte das mittlere Verhalten der Atemfrequenz während der Nacht. In Abb. 6a sind die Werte aller Kinder zwischen 20<sup>30</sup> und 6<sup>30</sup> Uhr zusammengefaßt. Es fällt auf, daß nach dem kontinuierlichen Absinken der Atemfrequenz bis zu einem Minimum um 2<sup>00</sup> Uhr der Frequenzanstieg, im Vergleich zur Pulsfrequenz, nur langsam erfolgt, so daß in der ganzen zweiten Nachthälfte etwa das gleiche niedrige Frequenzniveau beibehalten wird. Bei Aufteilung in die Altersgruppen (Abb. 6b) bleibt diese Eigenart des Kurvenverlaufes durchweg bestehen. Die Kurven der drei Gruppen verlaufen auf verschiedenem Frequenzniveau annähernd parallel zueinander. Dabei liegt die Atemfrequenz der Gruppe III nur um ein geringes höher als die der Gruppe II, während die jüngsten Kinder eine deutlich höhere Atemfrequenzlage zeigen. In Abb. 6c ist das Verhalten der Atemfrequenz für die Gruppen E, O und G dargestellt. Bei den Epileptikern dauert der Frequenzabfall, dem Verhalten der Pulsfrequenz bei diesen Kindern entsprechend, bis in die letzten Morgenstunden hinein an. Gleichzeitig haben sie das höchste Atemfrequenzniveau der drei Diagnosegruppen. Bei den anderen kranken Kindern liegt das Atemfrequenzminimum schon um 1<sup>00</sup> Uhr. Im Gegensatz zum Verhalten der Pulsfrequenz, bei der im Verlaufe der Nacht die Frequenzunterschiede zwischen den Gruppen E und O zunehmen, nehmen diese bei der Atemfrequenz im Laufe der Nacht ab. - Bei den gesunden Kindern zeigt sich wiederum der ruhigste Kurvenverlauf mit einem Minimum um 3<sup>00</sup> Uhr.

### b) Der individuelle nächtliche Frequenzmittelwert

Aus der Summe der Mittelwerte jedes Kindes berechneten wir die individuellen nächtlichen Atemfrequenz-Mittelwerte (Tabelle 9). Sie schwanken erheblich zwischen 13,1 A/min und 22,4 A/min.

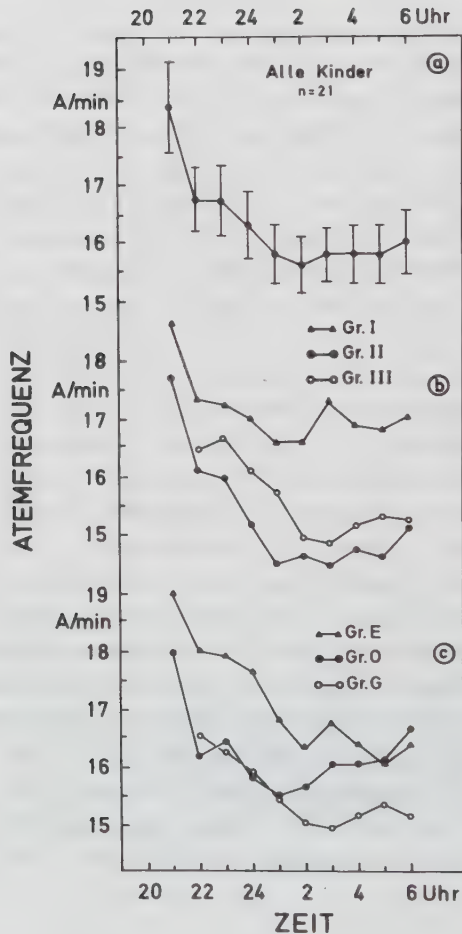


Abb. 6: Mittlerer Verlauf der Stundenmittelwerte der Atemfrequenz bei allen Kindern (a), in den Altersgruppen (b) sowie in den Diagnosegruppen (c). Die Klammern bezeichnen den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte.

| VP | $\bar{A}$ | A-Min <sub>15</sub> | $\Delta A_{15}$ | VP | $\bar{A}$ | A-Min <sub>15</sub> | $\Delta A_{15}$ |
|----|-----------|---------------------|-----------------|----|-----------|---------------------|-----------------|
| 1  | 13,72     | 11,67               | 38,87           | 12 | 15,42     | 13,02               | 30,83           |
| 2  | 19,28     | 16,43               | 33,37           | 13 | 18,53     | 13,97               | 48,92           |
| 3  | 22,42     | 20,13               | 28,05           | 14 | 14,29     | 12,03               | 32,89           |
| 4  | 17,11     | 13,93               | 51,43           | 15 | 19,28     | 17,07               | 25,24           |
| 5  | 13,44     | 11,91               | 23,47           | 16 | 13,12     | 11,93               | 27,77           |
| 6  | 15,91     | 12,53               | 60,32           | 17 | 17,89     | 15,76               | 25,83           |
| 7  | 16,53     | 13,69               | 42,75           | 18 | 15,37     | 13,20               | 25,15           |
| 8  | 18,43     | 14,83               | 45,57           | 19 | 17,06     | 13,63               | 45,72           |
| 9  | 15,57     | 12,70               | 46,44           | 20 | 13,60     | 11,83               | 60,06           |
| 10 | 15,47     | 12,53               | 50,22           | 21 | 13,81     | 11,78               | 33,79           |
| 11 | 15,41     | 12,80               | 53,86           |    |           |                     |                 |

Tabelle 9: Übersicht über den individuellen nächtlichen Atemfrequenz-Mittelwert ( $\bar{A}$ ) und das durchschnittliche nächtliche Atemfrequenzminimum (A-Min<sub>15</sub>) aller Kinder, Angaben jeweils in P/min, sowie den durchschnittlichen nächtlichen Pulsfrequenzabfall ( $\Delta A_{15}$ ) ausgedrückt als Prozentsatz von  $\bar{A}$ .

| Gruppe | $\bar{A} \pm \sigma_m$ | A-Min <sub>15</sub> $\pm \sigma_m$ | T <sub>A-Min</sub> $\pm \sigma_m$ |
|--------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| I      | 17,27 $\pm$ 0,93       | 14,57 $\pm$ 0,94                   | 2 <sup>26</sup> Uhr $\pm$ 35 min  |
| II     | 15,31 $\pm$ 0,63       | 12,84 $\pm$ 0,33                   | 2 <sup>21</sup> Uhr $\pm$ 32 min  |
| III    | 15,67 $\pm$ 0,81       | 13,15 $\pm$ 0,55                   | 3 <sup>20</sup> Uhr $\pm$ 35 min  |
| E      | 17,19 $\pm$ 1,70       | 14,82 $\pm$ 1,58                   | 3 <sup>45</sup> Uhr $\pm$ 31 min  |
| O      | 16,41 $\pm$ 0,47       | 13,26 $\pm$ 0,29                   | 1 <sup>49</sup> Uhr $\pm$ 34 min  |
| G      | 15,55 $\pm$ 0,80       | 13,40 $\pm$ 0,71                   | 2 <sup>55</sup> Uhr $\pm$ 34 min  |
| Alle   | 16,27 $\pm$ 0,52       | 13,69 $\pm$ 0,47                   | 2 <sup>43</sup> Uhr $\pm$ 20 min  |

Tabelle 10: Durchschnittlicher nächtlicher Atemfrequenz-Mittelwert ( $\bar{A}$ ), durchschnittliches nächtliches Atemfrequenzminimum (A-Min<sub>15</sub>), Angaben jeweils in A/min, sowie der durchschnittliche Zeitpunkt dieses Minimums (T<sub>A-Min</sub>), berechnet für die einzelnen Alters- und Diagnosegruppen sowie für das Gesamtkollektiv.

In Tabelle 10 sind diese individuellen Mittelwerte zu den entsprechenden Gruppenmittelwerten zusammengefaßt. Die Differenzen zwischen den Gruppen sind bei der starken Streuung nicht signifikant.

Bei Berechnung des Korrelationskoeffizienten für die Abhängigkeit der mittleren Atemfrequenz vom Lebensalter ergaben sich, wie schon aus Abb. 6b zu erwarten, keine signifikanten Werte, für die Gruppe 0 errechnete sich sogar ein positiver Koeffizient (Gr. E:  $r = -0,48$ ; Gr. O:  $r = +0,27$ ; Gr. G:  $r = -0,28$ ; alle Kinder:  $r = -0,28$ ). Im Gegensatz zur Pulsfrequenz nahm also bei den von uns untersuchten Kindern die Atemfrequenz mit steigendem Lebensalter nicht linear ab.

#### c) Niveauunabhängiger Vergleich der Frequenzverläufe

Zur besseren Beurteilung der Form des Kurvenverlaufes trugen wir in Abb. 7 auch die Atemfrequenz-Stundenmittelwerte in Prozent des individuellen nächtlichen Mittelwertes auf. Bei Zusammenfassung aller Kinder (Abb. 7a) ergibt sich praktisch der gleiche Kurvenverlauf wie in Abb. 6a. Erwartungsgemäß sind die Streuungen bei der niveauunabhängigen Darstellung viel geringer; auch bei der Atemfrequenz sind die Niveauunterschiede wesentlich ausgeprägter als die Verlaufsunterschiede. Aus Abb. 7b und Abb. 7c ergibt sich dementsprechend ein relativ ähnlicher Kurvenverlauf in allen Gruppen. Die gesunden Kinder zeigen aber wiederum den stetigsten Kurvenverlauf, und auch die Gruppe III (die Altersgruppe, in der die wenigsten kranken Kinder enthalten sind) ist im Vergleich zu den beiden anderen Altersgruppen durch einen ruhigeren Verlauf der Atemfrequenzkurve ausgezeichnet. Die Epileptiker fallen, wie schon in Abb. 6c, durch das sehr späte Minimum auf, die anderen kranken Kinder durch ein sehr frühes Minimum, die Kurve der Gesunden verläuft in dieser Hinsicht zwischen den beiden Extremen.

Faßt man die Kinder wie in Abb. 8 nach dem Verhalten ihrer Pulsfrequenz in solche mit frühem und solche mit spätem Pulsminimum zusammen (vergl. Abb. 3 und Tab. 5), so zeigt sich, daß sich die Atemfrequenz dabei im wesentlichen parallel zur Pulsfrequenz verhält: einem spätem Pulsminimum entspricht ein

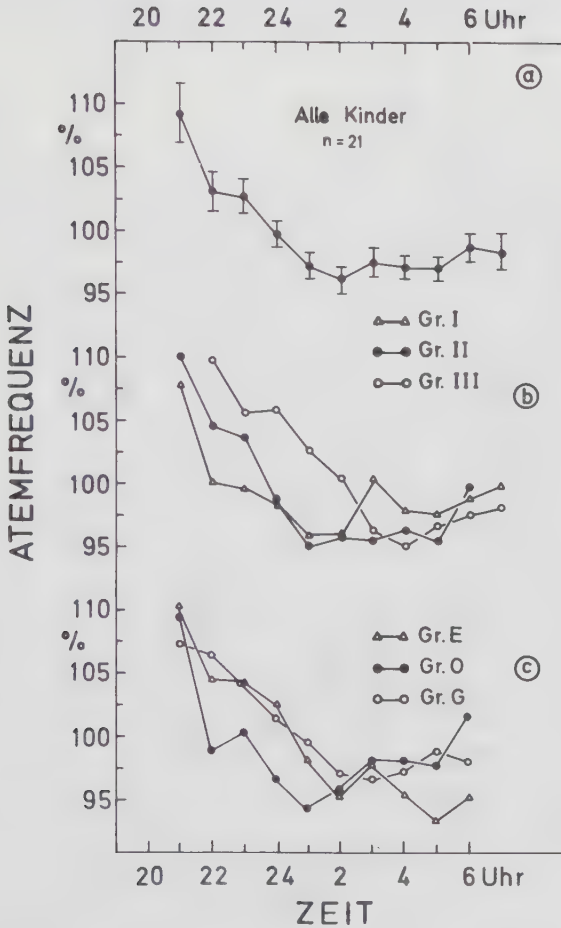


Abb. 7: Mittlerer Verlauf der Stundenmittelwerte der Atemfrequenz nach Umrechnung in Prozent des individuellen nächtlichen Mittelwertes bei allen Kindern (a), in den Altersgruppen (b) sowie in den Diagnosegruppen (c). Die Klammern bezeichnen den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte.

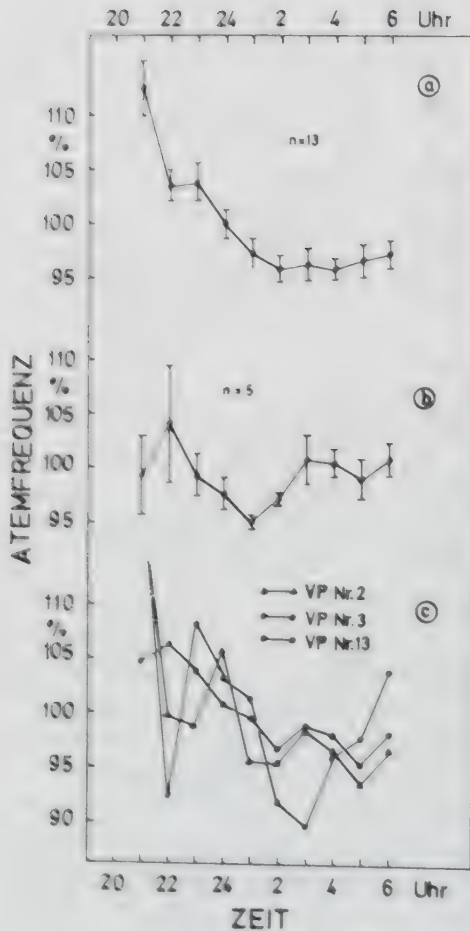


Abb. 5: Mittlerer Verlauf der relativen Stundenmittelwerte der Atemfrequenz bei Aufteilung der Kinder entsprechend der Abb. 3 bzw. Tab. 5 in eine Gruppe mit spätem Pulsfrequenzminimum (a), eine andere Gruppe mit frühem Pulsfrequenzminimum (b). Im unteren Teil (c) sind die individuellen Verlaufskurven jener drei Kinder dargestellt, deren Pulsverhalten sich in die beiden obigen Gruppen nicht einordnen ließ.

spätes Atemfrequenzminimum, einem frühen Pulsminimum ein frühes Atemfrequenzminimum. Die drei kranken Kinder, deren Pulsfrequenz in dieses Schema nicht einzuordnen war, verhalten sich hinsichtlich ihrer Atemfrequenz so, daß sie trotz auffällig großer Schwankungen zu den Kindern mit spätem Atemfrequenzminimum gezählt werden können.

#### d) Die Minima

Aus Tabelle 9 (S. 33) sind die Atemfrequenzminima jedes Kindes zu ersehen, aus Tabelle 10 (S. 33) die entsprechenden Gruppenmittelwerte. Wie schon bei den Mittelwerten der absoluten Atemfrequenz sind bei der großen Streuung die Differenzen zwischen den Gruppen statistisch nicht zu sichern. Ebenso errechnet sich auch weder eine signifikante noch eine eindeutige Korrelation zwischen Atemfrequenzminimum und Lebensalter (Gr. B:  $r = -0,44$ ; Gr. O:  $r = +0,12$ ; Gr. G:  $r = -0,32$ ; alle Kinder:  $r = -0,25$ ).

Die Abb. 9 zeigt die zeitliche Verteilung der Atemfrequenzminima (15-min-Summen) über die Nacht. Im Gesamtkollektiv liegen 70% der Minima in der zweiten Nachthälfte ab 2<sup>00</sup> Uhr. Im Gegensatz zu der eingipfligen Verteilungskurve der Pulsminima (vergl. Abb. 4 oben) hat die Häufigkeitskurve der Atemfrequenzminima ein breiteres Maximalniveau zwischen 1<sup>00</sup> und 3<sup>00</sup> Uhr. Auch nach Aufteilung der Kinder in die einzelnen Alters- und Diagnosegruppen (linke und rechte Spalte der Abb. 9) bleiben ähnliche zeitliche Verteilungen der Atemfrequenzminima bestehen. Es fällt lediglich auf, daß das zeitliche Häufigkeitsmittel der Epileptiker später liegen muß als das der anderen kranken und gesunden Kinder. Wie die in Tabelle 10 (S. 33) enthaltenen Durchschnittszeiten der Atemfrequenzminima zeigen, ist diese Abweichung gegenüber den Kindern der Gruppe O besonders groß und läßt sich statistisch sichern ( $p < 0,02$ ). Bei Zusammenfassung aller Kinder liegt das Atemfrequenzminimum wie das Pulsfrequenzminimum im Durchschnitt um etwa 3<sup>00</sup> Uhr.

Vom individuellen Frequenzniveau erwies sich die zeitliche Lage des Atemfrequenzminimums als unabhängig, wozu wir wie bei den Pulsfrequenzminima die Beziehung zwischen dem Zeitpunkt der

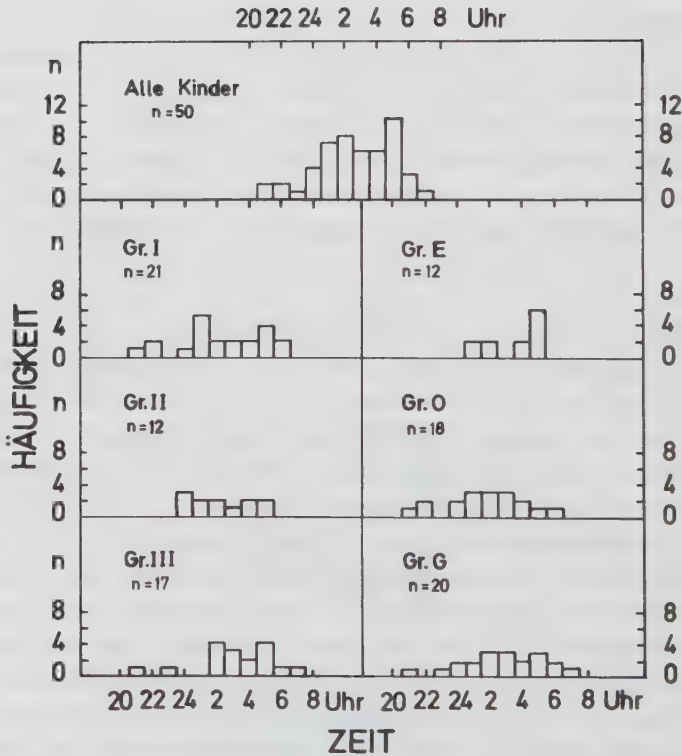


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der 15-min-Atemminima (A-Min<sub>15</sub>) über die Nacht, dargestellt für alle Kinder gemeinsam (oben), für die Altersgruppen (linke Spalte) sowie für die Diagnosegruppen (rechte Spalte).

Minima und ihrem absoluten Wert einerseits sowie dem individuellen nächtlichen Frequenzmittelwert andererseits untersuchten. Dabei berücksichtigten wir wieder sowohl die einzelnen 15-min-Werte ( $A\text{-Min}_{15}$ ) als auch die Stundenmittelwerte ( $A\text{-Min}_{60}$ ). In keinem Fall fanden sich nennenswerte oder gar signifikante Korrelationen.

Ebenso fand sich keine signifikante Abhängigkeit der zeitlichen Lage des Frequenzminimums von dem Ausmaß des nächtlichen Frequenzabfalles ( $\Delta A_{60}$ ), wie sie bei der Pulsfrequenz nachweisbar war. Außer bei der Gruppe O waren die Korrelationskoeffizienten sogar negativ (Gr. E:  $r = -0,83$ ; Gr. O:  $r = +0,41$ ; Gr. G:  $r = -0,42$ ; alle Kinder:  $r = -0,23$ ).

Puls- und Atemfrequenzminimum einer Nacht (15-min-Werte) lagen bei den einzelnen Kindern zeitlich z.T. recht weit auseinander. Bei Zusammenfassung aller Kinder differieren die Minima durchschnittlich um fast zwei Stunden, wobei die Atemfrequenzminima praktisch ebenso oft früher wie später als die Pulsfrequenzminima liegen. Tabelle 11 enthält die Mittelwerte dieser Differenzen für die einzelnen Gruppen. Die auffällig kleine Differenz in der Gruppe der Epileptiker unterscheidet sich statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ) von den größeren Differenzen der anderen Gruppen mit Ausnahme der Gruppe I. Der niedrigere Wert bei dieser Altersgruppe ist wesentlich durch den hohen Anteil der Epileptiker in dieser Gruppe bedingt.

Der kleinen zeitlichen Differenz zwischen Puls- und Atemfrequenzminimum bei den Gruppen E und I entsprach auch ein positiver Korrelationskoeffizient für die Zeitpunkte beider Minima bei diesen Gruppen (Gr. E:  $r = +0,80$ ;  $p < 0,01$ ; Gr. I:  $r = +0,51$ ,  $p < 0,05$ ), während sich für alle anderen Gruppen keine signifikanten Koeffizienten ergaben.

#### e) Der nächtliche Frequenzabfall

Aus Tabelle 9 (S. 33) ist der durchschnittliche nächtliche Atemfrequenzabfall ( $\Delta A_{15}$ ) für die einzelnen Versuchspersonen zu ersehen, in Tabelle 12 sind die entsprechenden Gruppenmittelwerte enthalten. Im Durchschnitt aller Kinder errechnet sich ein Atemfrequenzabfall von fast 40% des individuellen nächtlichen

| Gruppe | Zeitdifferenz $\pm$ $\sigma_m$<br>(in min) | Gruppe | Zeitdifferenz $\pm$ $\sigma_m$<br>(in min) |
|--------|--------------------------------------------|--------|--------------------------------------------|
| I      | 97,86 $\pm$ 22,28                          | E      | 53,00 $\pm$ 12,18                          |
| II     | 128,75 $\pm$ 28,55                         | O      | 137,50 $\pm$ 24,64                         |
| III    | 120,00 $\pm$ 27,80                         | G      | 124,50 $\pm$ 25,44                         |
| Alle   | 112,65 $\pm$ 14,62                         |        |                                            |

Tabelle 11: Mittlere Zeitdifferenz zwischen Pulsfrequenz- und Atemfrequenzminimum einer Versuchsnacht, berechnet für die Alters- und Diagnosegruppen sowie für das Gesamtkollektiv.

| Gruppe | $\Delta A_{15} \pm \sigma_m$ | Gruppe | $\Delta A_{15} \pm \sigma_m$ |
|--------|------------------------------|--------|------------------------------|
| I      | 39,28 $\pm$ 3,62             | E      | 35,04 $\pm$ 4,83             |
| II     | 42,82 $\pm$ 5,54             | O      | 47,36 $\pm$ 3,04             |
| III    | 37,56 $\pm$ 5,35             | G      | 34,55 $\pm$ 4,38             |
| Alle   | 39,55 $\pm$ 2,61             |        |                              |

Tabelle 12: Durchschnittlicher nächtlicher Atemfrequenzabfall ( $\Delta A_{15}$ ) in Prozent des individuellen nächtlichen Frequenzmittelwertes, berechnet für die verschiedenen Alters- und Diagnosegruppen sowie für das Gesamtkollektiv.

Atemfrequenzmittelwertes. Er ist damit signifikant größer als der durchschnittliche nächtliche Pulsfrequenzabfall ( $p < 0,025$ ). Auch in den einzelnen Gruppen ist der Abfall der Atemfrequenz größer als der der Pulsfrequenz, wie ein Vergleich von Tabelle 12 mit Tabelle 7 (S. 23) zeigt. Allerdings läßt sich die Differenz nur für die Gruppe O statistisch sichern ( $p < 0,05$ ). Eine Ausnahme bildet die Gruppe E, bei der der Pulsfrequenzabfall um ein geringes größer ist als der Atemfrequenzabfall.

Die Gruppe O fällt durch ihren sehr großen Atemfrequenzabfall auf. Sie unterscheidet sich dadurch signifikant von den gesunden Kindern ( $p < 0,05$ ). Die ebenfalls erhebliche Differenz zu den Epileptikern läßt sich bei der kleinen Fallzahl statistisch nicht sichern. Die Altersgruppen unterscheiden sich dagegen in ihrem durchschnittlichen Atemfrequenzabfall nicht signifikant von einander. Dem entspricht ein Korrelationskoeffizient für die Beziehung Lebensalter/nächtlicher Atemfrequenzabfall von  $r = -0,17$  (alle Kinder).

Bei Benutzung der Stundenmittelwertkurven ergibt sich ein durchschnittlicher Atemfrequenzabfall ( $\Delta A_{60}$ ) von  $21,22 \pm 2,27\%$  bei Mittelung über alle Kinder. Dieser Wert ist zwar gleichfalls größer als der entsprechende Wert für die Pulsfrequenz (vergl. S. 26), doch ist der Unterschied hier nicht signifikant.

Wie für die Pulsfrequenz ließ sich auch für die Atemfrequenz nachweisen, daß der nächtliche Atemfrequenzabfall ( $\Delta A_{15}$ ) um so größer ist, je höher die Ausgangslage der Atemfrequenz ist. Für die Beziehung zwischen Atemfrequenzabfall und höchstem nächtlichen Atemfrequenzwert errechnete sich bei Zusammenfassung aller Kinder ein Korrelationskoeffizient von  $r = +0,70$  ( $p < 0,001$ ). Die Koeffizienten für die einzelnen Gruppen waren von gleicher Größenordnung, ließen sich jedoch wegen der kleinen Fallzahl nur für die Gruppe O auf dem 1%-Niveau statistisch sichern. Auch wenn man die Stundenmittelwerte zugrundelegte, fand sich für die Beziehung zwischen dem höchsten Stundenmittelwert und  $\Delta A_{60}$  im Gesamtkollektiv ein Korrelationskoeffizient von  $r = +0,55$  ( $p < 0,01$ ).

## f) Die Variabilität

Aus Abb. 10 ergibt sich das durchschnittliche Verhalten der intraindividuellen Variabilität der Atemfrequenzwerte während der Nacht. Bei Zusammenfassung aller Kinder (Abb. 10a) findet sich lediglich ein initialer Abfall bis zu einem ersten Minimum bereits um 23<sup>00</sup> Uhr, wonach die Kurve praktisch auf gleichem Niveau verbleibt. Bei Aufteilung nach dem Alter (Abb. 10b) entstehen für die Gruppen I und II sehr schwankungsreiche Kurvenbilder, die keine übereinstimmende Regelmäßigkeit erkennen lassen. Die Kurve der Gruppe III verläuft dagegen muldenförmig mit einem Minimum um 2<sup>00</sup> Uhr. Wie bei der Pulsfrequenz liegt das Streuungsminimum der jüngsten Kinder am frühesten, das der Ältesten am spätesten, jedoch errechnete sich keine signifikante Korrelation zwischen der zeitlichen Lage der geringsten Atemfrequenzvariabilität und dem Lebensalter ( $r = +0,04$ ). Bei Aufteilung in die Diagnosegruppen (Abb. 10c) entsteht für die gesunden Kinder eine Kurve, die eine gewisse Ähnlichkeit mit dem mittleren Verlauf der Atemfrequenz (vergl. Abb. 7c) aufweist. Für die Epileptiker stimmt der Verlauf der Streuungskurve mit der Kurve ihrer Atemfrequenz sogar überraschend gut überein. Die Gruppe O zeigt dagegen nach einem Minimum um 23<sup>00</sup> Uhr einen stetig ansteigenden Verlauf und paßt daher am wenigsten zum Verlauf der zugehörigen Atemfrequenzkurve.

Dem entsprechen auch die mittleren Zeitdifferenzen zwischen niedrigster Frequenzvariabilität und Frequenzminimum der Atmung. Differenzen von mehr als einer Stunde fanden sich nämlich bei den Epileptikern nur in einem von fünf Fällen; bei allen anderen Gruppen waren solche größeren Zeitdifferenzen dagegen häufiger:

- Gruppe E: Differenzen  $> 1$  h bei 1 von 5 Kindern (20%)
- Gruppe O: Differenzen  $> 1$  h bei 7 von 8 Kindern (88%)
- Gruppe G: Differenzen  $> 1$  h bei 5 von 8 Kindern (63%)
- Gruppe I: Differenzen  $> 1$  h bei 5 von 9 Kindern (56%)
- Gruppe II: Differenzen  $> 1$  h bei 4 von 5 Kindern (80%)
- Gruppe III: Differenzen  $> 1$  h bei 4 von 7 Kindern (57%)

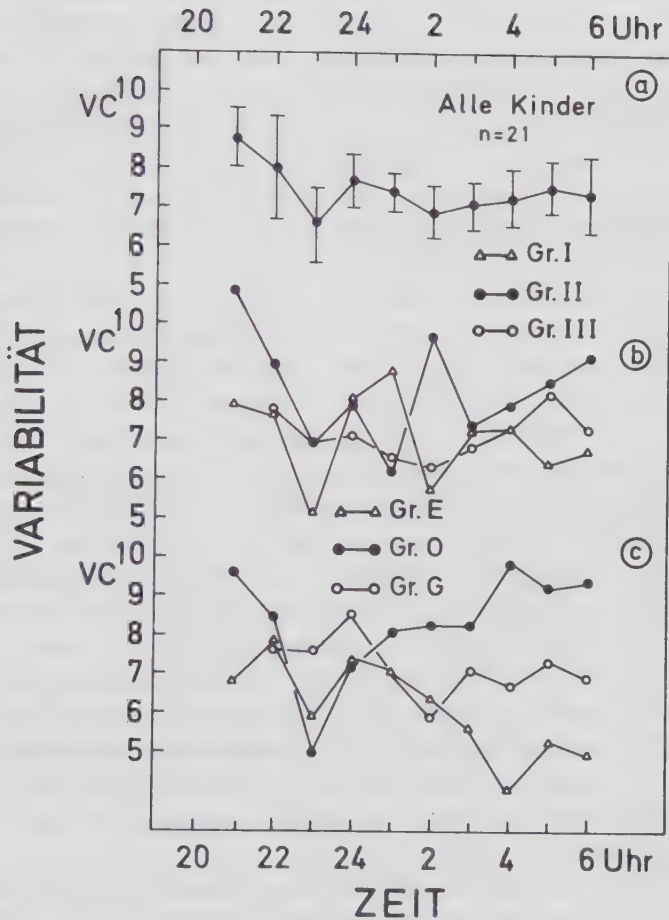


Abb. 10: Mittlerer Verlauf der Stundenmittelwerte der Koeffizienten der intraindividuellen Atemfrequenzvariabilität (VC) bei allen Kindern (a), in den Altersgruppen (b) sowie in den Diagnosegruppen (c). Die Klammern bezeichnen den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte.

Zum quantitativen Vergleich der intraindividuellen Atemfrequenzvariabilitäten enthält Tabelle 13 die durchschnittlichen Variabilitätskoeffizienten ( $VC_1$ ) der verschiedenen Gruppen. Bei Mittelung über alle Kinder ergibt sich ein durchschnittlicher  $VC_1$  von  $7,48 \pm 0,19$ . Bei der Gruppe O ist die Variabilität der Atemfrequenz signifikant größer als bei der Gruppe E ( $p < 0,005$ ) und der Gruppe G ( $p < 0,05$ ). Bei der Gruppe II ist der Mittelwert der Variabilitätskoeffizienten ebenfalls signifikant größer als in den beiden anderen Altersgruppen ( $p < 0,05$ ). Diese auffällige Übereinstimmung im Verhalten der Gruppen O und II ist automatisch bedingt durch die in der Gruppe II vorherrschenden Kinder aus der Gruppe O (vergl. Tab. 1).

Tabelle 13 enthält ferner die Variabilitätskoeffizienten  $VC_2$  als Maß der interindividuellen Streuung. Anders als bei der Pulsfrequenz haben nicht die gesunden Kinder, sondern die kranken Kinder der Gruppe O die geringste interindividuelle Variabilität der Atemfrequenz. Die Epileptiker zeigen die größte interindividuelle Streuung, die gesunden Kinder liegen in der Mitte zwischen beiden Gruppen kranker Kinder. Die Unterschiede zwischen den Gruppen E, O und G lassen sich sämtlich auf dem 0,001-Signifikanzniveau sichern. - Bei Aufteilung in die Altersgruppen ist die interindividuelle Variabilität der Gruppe II, bedingt durch die in ihr enthaltenen Kinder der Gruppe O, signifikant kleiner als die der beiden anderen Gruppen ( $p < 0,005$ ). Die interindividuelle Streuung der Atemfrequenz wird dadurch mit zunehmendem Lebensalter nicht kontinuierlich kleiner, wie wir es für die Pulsfrequenz gefunden hatten. Allerdings weisen die jüngsten Kinder eine etwas höhere Streuung auf als die ältesten Kinder ( $p < 0,005$ ).

Ein Vergleich von  $VC_1$  und  $VC_2$  im Gesamtkollektiv sowie in den verschiedenen Teilgruppen ergab, daß die interindividuelle Variabilität der Atemfrequenz ebenso wie bei der Pulsfrequenz jeweils wesentlich größer ist als ihre intraindividuelle Variabilität ( $p < 0,001$ ). Nur die Gruppe O und II machten eine Ausnahme, bei ihnen waren intra- und interindividuelle Streuung der Atemfrequenz fast gleich groß.

Vergleichen wir Puls- und Atemfrequenz hinsichtlich ihrer intraindividuellen Variabilität, so ergibt sich im allgemeinen eine deutlich kleinere Streuung der Pulsfrequenz ( $p < 0,005$ ). Für die Gruppe II erreicht die Differenz allerdings nur das 0,02-Signifikanzniveau, und bei der Gruppe E ist die intraindividuelle Variabilität des Pulses sogar etwas größer als die der Atmung.

Beim Vergleich der Koeffizienten für die interindividuelle Variabilität von Puls- und Atemfrequenz war ebenfalls die Streuung der Pulsfrequenz bei Zusammenfassung aller Kinder und in den meisten Teilgruppen kleiner als die der Atemfrequenz (jeweils  $p < 0,001$ , Gr. I:  $p < 0,025$ ). Eine Ausnahme bildeten die Gruppen II und O, bei denen die interindividuelle Streuung der Pulsfrequenz größer war als die der Atemfrequenz. Die Differenz war jedoch nur für die Gruppe O signifikant ( $p < 0,001$ ), ein Hinweis darauf, daß das auffällige Verhalten der Atemfrequenzstreuung der Altersgruppe II auf die in ihr enthaltenen Kinder der Gruppe O zurückgeht.

| Gruppe | Intraindividuelle<br>Variabilität, $VC_1$ | Interindividuelle<br>Variabilität, $VC_2$ |
|--------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| I      | 7,12 $\pm$ 0,35                           | 17,24 $\pm$ 0,52                          |
| II     | 8,35 $\pm$ 0,43                           | 9,27 $\pm$ 0,90                           |
| III    | 7,18 $\pm$ 0,20                           | 14,03 $\pm$ 0,85                          |
| E      | 6,12 $\pm$ 0,38                           | 23,05 $\pm$ 0,25                          |
| O      | 8,31 $\pm$ 0,46                           | 9,89 $\pm$ 0,78                           |
| G      | 7,20 $\pm$ 0,24                           | 14,78 $\pm$ 0,46                          |
| Alle   | 7,48 $\pm$ 0,19                           | 15,53 $\pm$ 0,31                          |

Tabelle 13: Übersicht über die Koeffizienten der durchschnittlichen intraindividuellen und interindividuellen Atemfrequenzvariabilität mit ihren mittleren Fehlern, berechnet für die Alters- und Diagnosegruppen sowie für das Gesamtkollektiv.

### 3. Das Verhalten des Puls-Atem-Quotienten

Bei der Darstellung unserer Ergebnisse über den Puls-Atem-Quotienten weichen wir von der bei Puls- und Atemfrequenz eingehaltenen Reihenfolge ab. Wir stellen die Untersuchung über die Häufigkeitsverteilung der Quotienten der Darstellung ihres mittleren Verhaltens im Laufe der Nacht voran, da sich erst aus der Häufigkeitsverteilung unser methodisches Vorgehen bei der zusammenfassenden Schilderung der Kurvenverläufe ergeben wird.

#### a) Die Häufigkeitsverteilung

Abb. 11 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Puls-Atem-Quotienten (15-min-Werte) aller Kinder. Die Werte streuen erheblich zwischen 2,4 und 7,4. Überraschenderweise ist die Verteilungskurve nahezu symmetrisch. Nach einer Probit-Transformation ergibt sich im Wahrscheinlichkeitsnetz über linearer Abszisse eine gute Annäherung der Summenhäufigkeitsprozente an die angepaßte Probitgerade (Abb. 12). Die Puls-Atem-Quotienten der untersuchten Kinder sind also annähernd normal verteilt. Dementsprechend haben wir im folgenden, abweichend vom Vorgehen bei Untersuchungen an Erwachsenen (vergl. HILDEBRANDT 1960), die Mittelwerte des Puls-Atem-Quotienten arithmetisch bestimmt.

Abb. 13 und Abb. 14 zeigen die Häufigkeitsverteilungen des Puls-Atem-Quotienten für die einzelnen Gruppen. Die Unterschiede zwischen den Altersgruppen (Abb. 13) sind zu einem großen Teil vorgetäuscht; sie erklären sich dadurch, daß die Gruppe I einen hohen Anteil an Epileptikern hat und die Gruppe II vorwiegend aus kranken Kindern ohne Krampfanfälle besteht. Wir gehen daher nicht näher auf die Kurven der Altersgruppen ein. - Echte Unterschiede ergeben sich bei Aufteilung in die kranken und gesunden Kinder (Abb. 14). Die Epileptiker (Gruppe E) fallen durch eine sehr breite Streuung ihrer Puls-Atem-Quotienten auf. Nahezu alle Extremwerte in der Gesamtverteilungskurve (Abb. 11) gehen zu Lasten dieser Kinder.

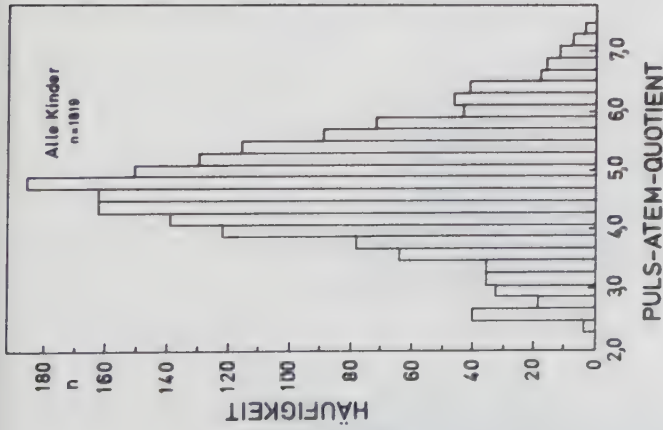


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung  
der Puls-Atem-Quotienten  
(15-min-Werte) aller  
21 Kinder

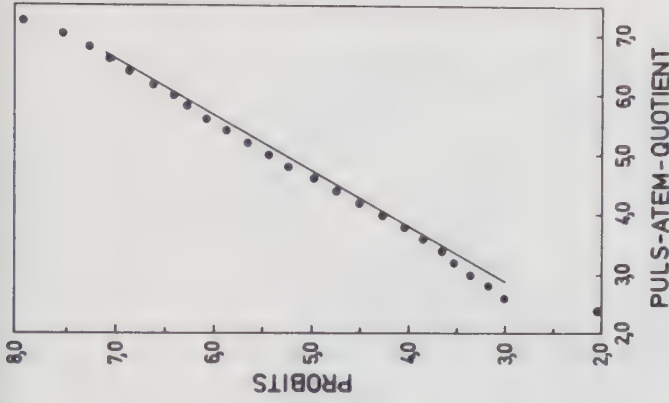


Abb. 12: Häufigkeitsverteilung  
der Puls-Atem-Quotienten  
(15-min-Werte) aller  
21 Kinder der Abb. 11  
im Wahrscheinlichkeitsnetz  
über linearer Abszisse  
(Probit-Transformation)

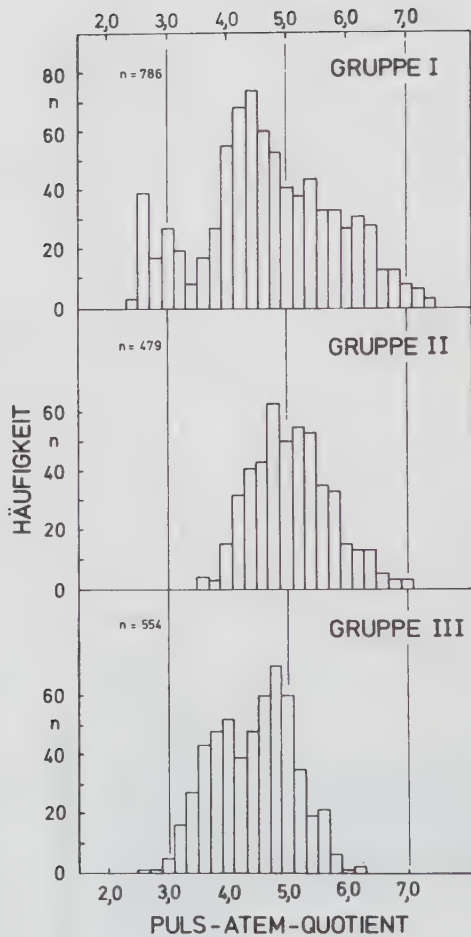


Abb. 13: Häufigkeitsverteilung der Puls-Atem-Quotienten (15-min-Werte) bei Aufteilung der Kinder in die 3 Altersgruppen

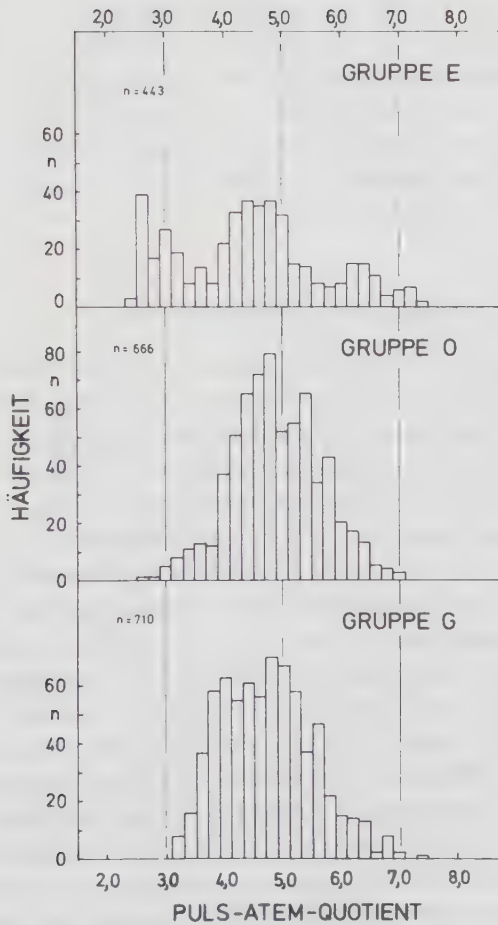


Abb. 14: Häufigkeitsverteilung der Puls-Atem-Quotienten (15-min-Werte) bei Aufteilung der Kinder in die 3 Diagnosegruppen.

Entsprechend ist der Mittelwert der stündlichen interindividuellen Streuungen bei ihnen signifikant größer ( $p < 0,001$ ) als bei den beiden anderen Gruppen (Gr. E:  $\bar{x} = 1,28 \pm 0,03$ ; Gr. O:  $\bar{x} = 0,72 \pm 0,03$ ; Gr. G:  $\bar{x} = 0,74 \pm 0,01$ ). Die anderen kranken Kinder (Gruppe O) zeigen ein deutlich schmaleres QPA-Verteilungsspektrum mit einer Häufung ihrer Quotienten zwischen den Werten 4 und 5. Die Kurve der gesunden Kinder ähnelt der Kurve der Kinder der Gruppe O. Allerdings ist bei ihnen der Anteil der ganzzahligen Quotienten etwas höher als bei den kranken Kindern (vergl. auch Tab. 15).

#### b) Der Anteil ganzzahliger Quotienten

Bei näherer Betrachtung lassen die Verteilungskurven der Abb. 13 und Abb. 14 die Vermutung zu, daß diese aus mehreren Verteilungskurven zusammengesetzt sind, die sich um verschiedene ganzzahlige Werte zentrieren. Besonders die Kurve der gesunden Kinder und die der Gruppe III legen eine solche Interpretation nahe. Wir haben deshalb alle Puls-Atem-Quotienten auch als Abweichungen vom individuell häufigsten ganzzahligen Wert ( $X, 0$ ) ausgedrückt. Eine Auftragung der Abweichungshäufigkeiten müßte, wenn unsere Vermutung berechtigt ist, einen Gipfel beim individuell häufigsten ganzzahligen Wert ( $X, 0$ ) ergeben.

Wie Abb. 15 und Abb. 16 zeigen, ist dies bei Zusammenfassung aller Kinder und auch für die Einzelgruppe E und G der Fall. Die Gruppe O weist zwar auch eine annähernd symmetrische Verteilung um den individuell häufigsten ganzzahligen Wert auf, jedoch hat in dieser Gruppe die Klasse der ganzzahligen QPA-Werte nicht, wie bei den anderen Gruppen, die größte Häufigkeit; die Verteilungskurve ist vielmehr zweigipflig und hat im Bereich des individuell häufigsten ganzzahligen Quotienten eine Senke. - Abgesehen von der Gruppe O ergibt sich also im Durchschnitt aller untersuchten Kinder, daß der Puls-Atem-Quotient während der Nacht ganzzahlige Werte bevorzugt. Im einzelnen lagen diese ganzzahligen Werte zwischen 3,0 und 6,0.

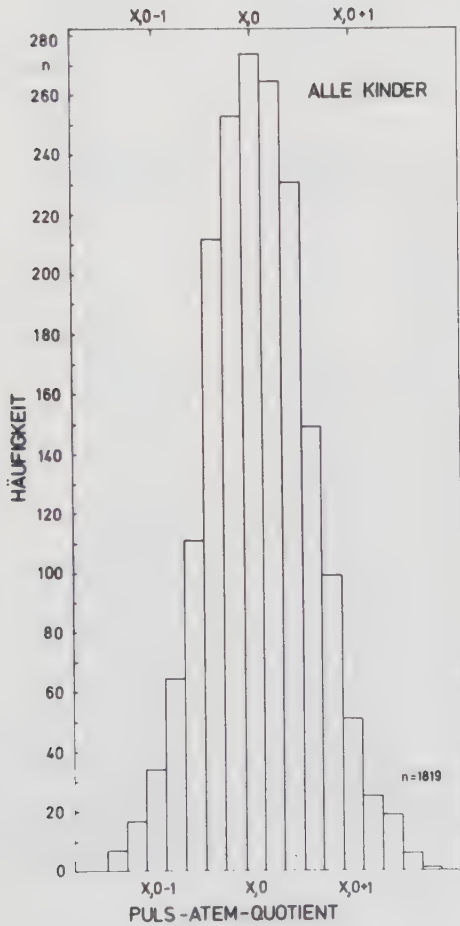


Abb. 15: Häufigkeitsverteilung der Puls-Atem-Quotienten aller 21 Kinder, alle Quotienten ausgedrückt als Abweichungen vom individuell häufigsten ganzzahligen Wert des jeweiligen Kindes.

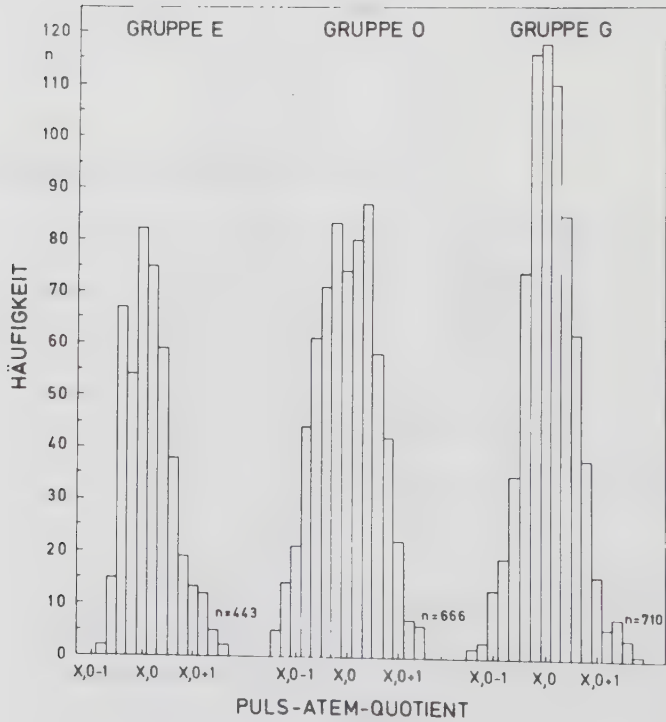


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Puls-Atem-Quotienten bei Aufteilung der Kinder in die drei Diagnosegruppen, alle Quotienten ausgedrückt als Abweichungen vom individuell häufigsten ganzzahligen Wert des jeweiligen Kindes.

| VP | QPA-Mittelwert | häufigste QPA-Klasse | häufigster ganzzahliger Quotient | Anteil ganzzahliger Quotienten (%) |
|----|----------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 1  | 6,38           | 6,4                  | 6,0                              | 18,52                              |
| 2  | 4,22           | 4,0                  | 4,0                              | 28,21                              |
| 3  | 2,90           | 2,6                  | 3,0                              | 23,68                              |
| 4  | 4,49           | 4,4                  | 4,0                              | 11,39                              |
| 5  | 4,92           | 5,0                  | 5,0                              | 29,67                              |
| 6  | 5,01           | 4,8                  | 5,0                              | 21,92                              |
| 7  | 4,47           | 4,4                  | 4,0                              | 14,40                              |
| 8  | 5,52           | 5,4                  | 6,0                              | 12,50                              |
| 9  | 4,83           | 4,6                  | 5,0                              | 22,37                              |
| 10 | 5,10           | 4,8                  | 5,0                              | 15,87                              |
| 11 | 4,50           | 4,4                  | 4,0                              | 23,68                              |
| 12 | 5,76           | 5,8                  | 6,0                              | 17,09                              |
| 13 | 3,59           | 3,4                  | 4,0                              | 21,43                              |
| 14 | 6,00           | 6,2                  | 6,0                              | 22,08                              |
| 15 | 4,13           | 4,2                  | 4,0                              | 26,83                              |
| 16 | 5,24           | 5,2                  | 5,0                              | 22,22                              |
| 17 | 3,75           | 3,6                  | 4,0                              | 13,39                              |
| 18 | 4,13           | 4,2                  | 4,0                              | 27,54                              |
| 19 | 4,37           | 4,6                  | 4,0                              | 22,39                              |
| 20 | 5,07           | 4,8                  | 5,0                              | 25,56                              |
| 21 | 4,80           | 4,6                  | 5,0                              | 20,00                              |

Tabelle 14: Übersicht über den QPA-Mittelwert, die häufigste QPA-Klasse, den individuell häufigsten ganzzahligen QPA sowie den prozentualen Anteil ganzzahliger Puls-Atem-Quotienten für alle Kinder.

Tabelle 14 enthält für jedes Kind den häufigsten ganzzahligen QPA sowie den prozentualen Anteil ganzzahliger Quotienten. Aus der Aufstellung ist zu ersehen, daß im Einzelfall die Bevorzugung ganzzahliger Werte sehr unterschiedlich ausgeprägt war und der Anteil ganzzahliger Quotienten von Kind zu Kind ganz erheblich schwankte. Wie aus Tabelle 15 (S. 62) zu ersehen ist, errechnet sich bei Zusammenfassung aller Kinder eine durchschnittliche Rate ganzzahliger Quotienten von  $20,99 \pm 1,16\%$ . Die Aufteilung der Kinder in die einzelnen Gruppen ergab für den durchschnittlichen Anteil ganzzahliger Quotienten keine signifikanten Unterschiede. Allerdings waren Anteile ganzzahliger Quotienten von weniger als 20% bei den kranken Kindern ohne Krampfanfälle am häufigsten, bei den gesunden Kindern am seltensten; entsprechende Unterschiede zwischen den Altersgruppen waren wieder durch die in ihnen enthaltenen kranken Kinder erklärbar.

- Gr. E: Rate ganzzahliger QPA < 20% bei 2 von 5 Kindern (40%)
- Gr. O: Rate ganzzahliger QPA < 20% bei 4 von 8 Kindern (50%)
- Gr. G: Rate ganzzahliger QPA < 20% bei 1 von 8 Kindern (13%)
- Gr. I: Rate ganzzahliger QPA < 20% bei 3 von 9 Kindern (33%)
- Gr. II: Rate ganzzahliger QPA < 20% bei 3 von 5 Kindern (60%)
- Gr. III: Rate ganzzahliger QPA < 20% bei 1 von 7 Kindern (14%)

c) Die zeitliche Verteilung der ganzzahligen Quotienten

Über die Häufigkeitsverteilung der ganzzahligen Puls-Atem-Quotienten über die Nacht orientiert Abb. 17. Bei Zusammenfassung aller Kinder ergaben sich zwei deutliche Maxima bei  $1^{00}$  bis  $2^{00}$  und bei  $6^{00}$  Uhr, jedoch war auch in der ersten Nachthälfte die Anzahl ganzzahliger Quotienten recht erheblich. - Trägt man die Häufigkeiten für die einzelnen ganzzahligen Quotienten getrennt auf, so zeigen nur die Verteilungskurven der Quotienten 4 und besonders 5 ebenfalls einen zweigipfligen Verlauf. Beim QPA = 6 ist das Maximum kurz vor dem Aufwachen besonders stark ausgeprägt. Die Quotienten 3 und 7 sind ohne erkennbare Ordnung über die Nacht verteilt, jedoch reicht die geringe Anzahl solcher Quotienten für die Beurteilung nicht aus.

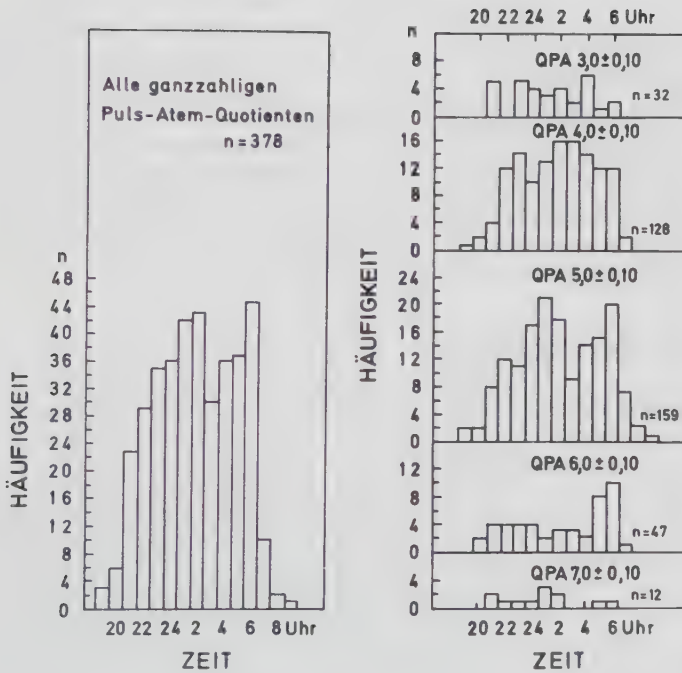


Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der ganzzahligen Puls-Atem-Quotienten (15-min-Werte) aller Kinder über die Nacht, bei Zusammenfassung aller ganzzahligen Werte (linke Spalte) sowie bei getrennter Darstellung für die verschiedenen ganzzahligen Werte (rechte Spalte)

Auffällig war, daß nur der Quotient 4 eine gute Einordnung in den sog. biologischen Tag (HILDEBRANDT 1953a, 1953b, 1960) mit seiner Wendestunde um 3<sup>00</sup> Uhr aufwies, indem um diese Zeit der Quotient am häufigsten eingestellt wurde. Bei allen anderen ganzzahligen Quotienten lagen die Maxima der Verteilungskurven zu anderen Zeiten, um 3<sup>00</sup> Uhr fanden sich eher Minima der Verteilungsdiagramme.

Eine Aufschlüsselung der zeitlichen Verteilung ganzzahliger Puls-Atem-Quotienten für die einzelnen Gruppen brachte keine faßbaren Unterschiede. Eine zweigipflige Verteilung, wie sie sich bei Zusammenfassung aller Kinder ergeben hatte, zeigte nur die Altersgruppe II. Andere Gruppen zeigten 3 Häufigkeitsmaxima (Gr. E, Gr. O, Gr. III), bei den Gruppen G und I waren noch weitere Maxima im Abstand von 2 bis 3 Stunden erkennbar. Die ersten Häufigkeitsgipfel lagen dabei bereits auffällig früh, 1 bis 2 Stunden nach dem Einschlafen. Kurz vor dem Aufwachen lagen die Puls-Atem-Quotienten bei allen Gruppen häufig im ganzzahligen Bereich, aber nur bei den gesunden Kindern war dieser Häufigkeitsgipfel der höchste im Nachtverlauf (vergl. PÖLLMANN 1972). Insgesamt waren aber sichere Unterschiede zwischen den Gruppen nicht vorhanden.

#### d) Das mittlere QPA-Niveau

Zur Charakterisierung des mittleren QPA-Niveaus während der Nacht enthält Tabelle 14 (S. 53) für jedes Kind den nächtlichen QPA-Mittelwert sowie die häufigste QPA-Klasse. Wie schon bei den individuell häufigsten ganzzahligen Quotienten fällt die große Variabilität der Werte von Kind zu Kind auf. In Tabelle 15 (S. 62) sind die individuellen nächtlichen QPA-Mittelwerte zu den Gruppenmittelwerten zusammengefaßt. Die Differenzen zwischen diesen waren wesentlich geringer als die interindividuellen Unterschiede innerhalb jeder Gruppe. Bei den kranken und gesunden wie auch bei den Kindern der drei Altersgruppen kamen gleichermaßen auffällig hohe und auffällig niedrige Puls-Atem-Quotienten vor (vergl. Tab. 14).

Eine signifikante Korrelation zwischen der Höhe des QPA und dem Lebensalter bestand, wie nach den bisherigen

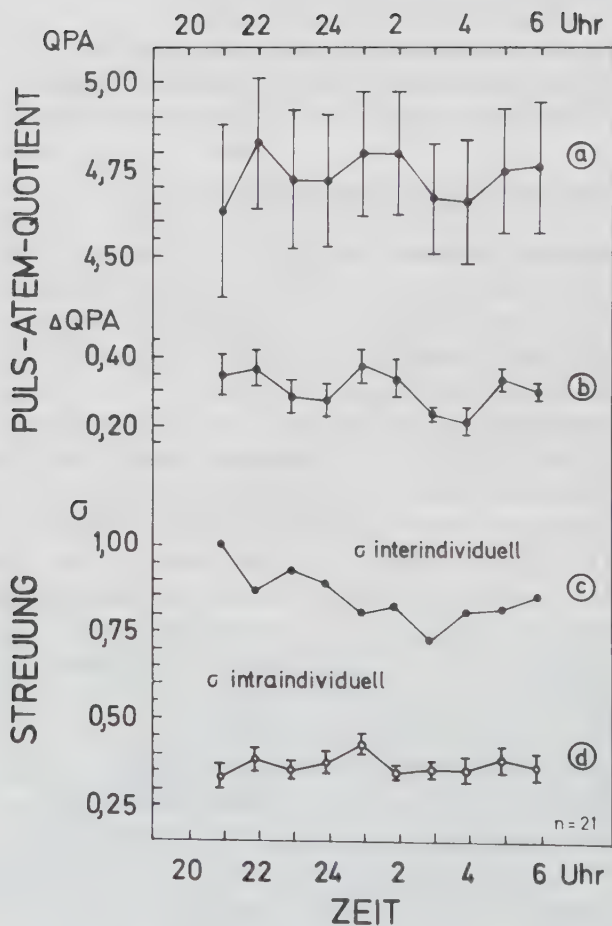
Ergebnissen zu erwarten, weder für den QPA-Mittelwert (alle Kinder:  $r = -0,28$ ; gesunde Kinder:  $r = -0,36$ ) noch für den häufigsten ganzzahligen QPA (alle Kinder:  $r = -0,16$ ; gesunde Kinder:  $r = -0,34$ ), alle Korrelationskoeffizienten waren aber negativ und die Beziehung für die gesunden Kinder allein strenger als bei Einbeziehung der kranken Kinder. Am besten war bei den gesunden Kindern die häufigste QPA-Klasse mit dem Lebensalter korreliert (alle Kinder:  $r = -0,28$ ; gesunde Kinder:  $r = -0,48$ ).

#### e) Das mittlere Verhalten während der Nacht

Entsprechend unserem Vorgehen bei Puls- und Atemfrequenz haben wir für jedes Kind auch die Puls-Atem-Quotienten aller Versuchsnächte stundenweise zu Mittelwerten zusammengefaßt. Die entstehenden Kurven geben das mittlere Verhalten des QPA während der Nacht wieder.

Abb. 18a zeigt den mittleren Verlauf des Puls-Atem-Quotienten während der Nacht für alle Kinder gemeinsam. Die Kurve weist zwei Senken in etwa 4-stündigem Abstand auf, die Streuung ist aber so groß, daß sich diese nicht signifikant abheben. Diese große Streuung ist in erster Linie auf die erheblichen interindividuellen Niveaudifferenzen zurückzuführen. Um diese zur besseren Darstellung der Verlaufsform zu eliminieren, wurden die individuellen Verläufe zunächst nach dem individuell häufigsten ganzzahligen QPA (vergl. Tab. 14) gruppiert (Abb. 19). Dabei fällt auf, daß - im Gegensatz zu Puls- und Atemfrequenz - die individuellen Verlaufsformen keine auffällige Übereinstimmung zeigen, daß vielmehr Abschnitte mit mehr oder weniger starker Konzentration der Kurven um den ganzzahligen Bezugswert hervortreten, besonders z.B. um 4<sup>00</sup> Uhr in der um 5,0 konzentrierten Teilgruppe.

Wir haben deshalb auch für jeden einzelnen Fall den Verlauf der Abweichung vom zugehörigen ganzzahligen Quotienten berechnet und diesen für alle Kinder gemeinsam in Abb. 18b zusammengefaßt. Dabei ergibt sich wiederum ein zweiwelliger Verlauf, bei dem die in etwa 4-stündigem Abstand auftretenden Senken mit größter Annäherung an den ganzzahligen Quotientenwert nunmehr statistisch relevanter hervortreten (Differenz zwischen 1<sup>00</sup> und 3<sup>00</sup> bzw. 4<sup>00</sup> Uhr:  $p < 0,05$ ).



**Abb. 18:** Mittleres Verhalten des Puls-Atem-Quotienten während der Nacht bei Zusammenfassung der Stundenmittelwerte aller Kinder (a) sowie bei Zusammenfassung der Abweichungen vom individuell häufigsten ganzzahligen Wert (b). Im unteren Teil das Verhalten der interindividuellen (c) sowie der intraindividuellen Streuung (d) der QPA-Stundenmittelwerte. Die Klammern bezeichnen jeweils den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte.

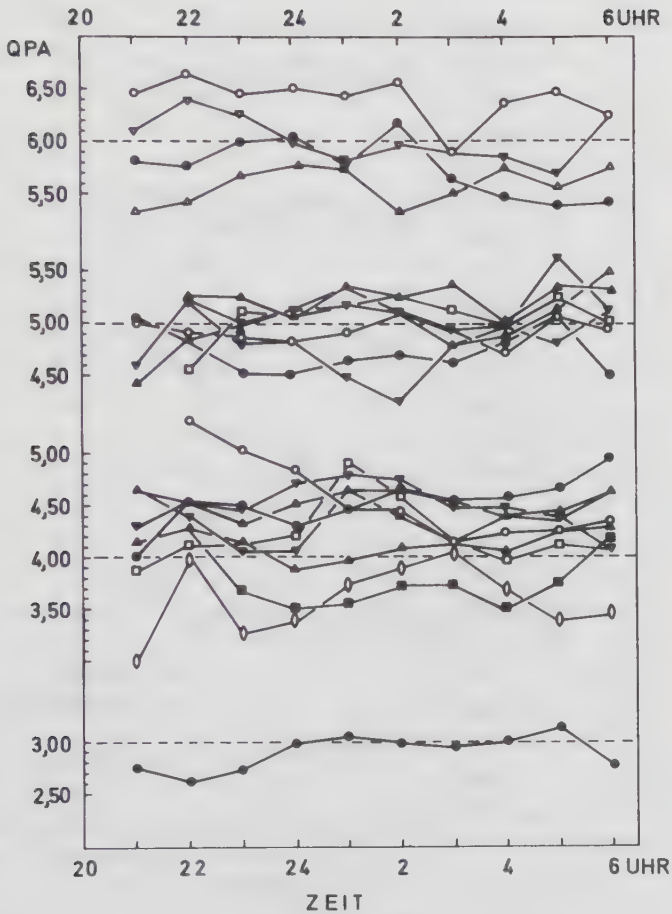


Abb. 19: Das Verhalten des Puls-Atem-Quotienten während der Nacht, dargestellt anhand der individuellen Stundenmittelwertkurven aller Versuchspersonen unter gruppenweiser Zusammenfassung der Kinder mit gleichem individuell häufigsten ganzzahligen Quotienten.

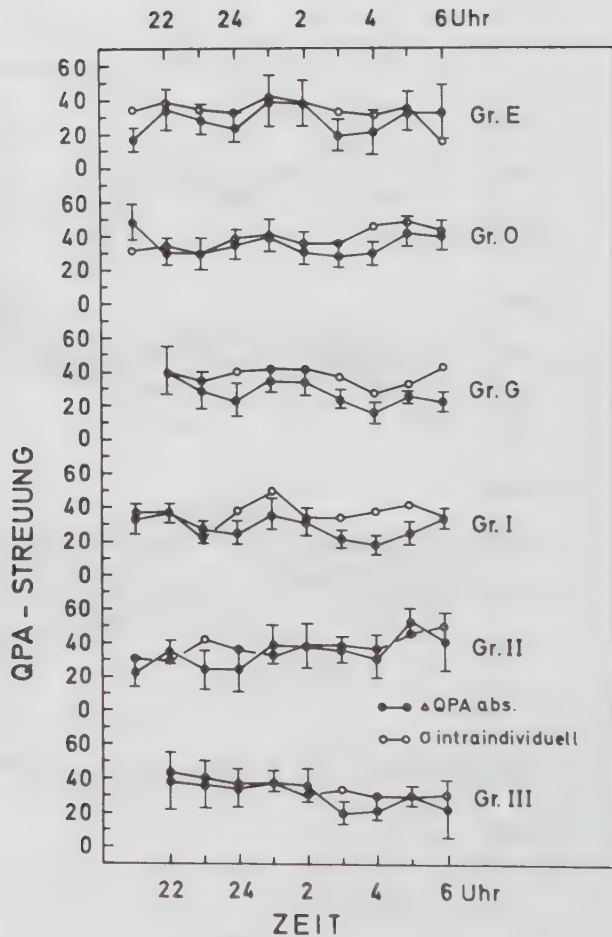


Abb. 20: Mittlerer Verlauf der Abweichung vom individuell häufigsten ganzzahligen QPA ( QPA) sowie der intraindividuellen Streuung des QPA ( intraindividuell), dargestellt für die Alters- und Diagnosegruppen. Die Klammern bezeichnen den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte.

Die zweite Senke fällt auch mit dem absoluten Streuungsminimum im mittleren Verlauf aller Quotientwerte und Kinder zusammen (Abb. 18c), während zum Verlauf der mittleren intraindividuellen Streuung, die für die jeweils stündlich zusammengefaßten 15-min-Werte bestimmt wurde, zunächst keine so gute Übereinstimmung besteht (Abb. 18d).

Auffällig war, daß die Gruppierung um die verschiedenen ganzzahligen Werte in Abb. 19 nicht gleichmäßig eng war. Bei Berechnung der mittleren durchschnittlichen Abweichung aller Kinder während der Nacht war diese in der Gruppe mit dem häufigsten ganzzahligen QPA-Wert 5,0 mit 0,21 ( $\pm 0,02$ ) statistisch gesichert geringer als in der Gruppe um 4,0 mit 0,40 ( $\pm 0,02$ ) und der um 6,0 mit 0,34 ( $\pm 0,03$ ). Dies zeigt, daß um den ganzzahligen Wert 5,0 im Kindesalter eine besonders starke nächtliche Konzentrationstendenz besteht.

In Abb. 20 ist der Verlauf der mittleren Abweichung vom individuell häufigsten ganzzahligen QPA-Wert gemäß Abb. 18b auch für alle Teilgruppen unseres Kollektivs mit seinem mittleren Fehlerbereich vergleichend kontrolliert, und zwar gleichzeitig mit dem Gang der intraindividuellen Streuung gemäß Abb. 18d. Dabei ergibt sich, daß der gefundene wellenförmige Verlauf der Abweichung vom ganzzahligen Quotientwert sich in allen Teilgruppen mehr oder weniger deutlich abzeichnet und daß zugleich auch der Gang der intraindividuellen QPA-Streuung, die ein Maß für die individuelle Stabilität der Quotientenwerte ist, sich besonders in den drei Diagnosegruppen dieser wellenförmigen Verlaufsform einordnet. Diese gleichsinnige Zuordnung unterstreicht, daß die Annäherung an die Ganzzahligkeit eine echte Normalisierung bedeutet (vergl. HILDEBRANDT 1960, 1967). Die Stärke dieser Normalisierungstendenz läßt sich in den einzelnen Gruppen der Abb. 20 am besten durch Bestimmung des mittleren Niveaus der Abweichungskurve (mittlere Abweichung vom individuell häufigsten ganzzahligen Wert,  $\Delta$  QPA) charakterisieren und untereinander vergleichen. Wie die Werte der Tabelle 15 zeigen, wies die

Gruppe 0 die größte durchschnittliche Abweichung auf, wobei allerdings nur die Differenz zu den gesunden Kindern statistisch signifikant war ( $p < 0,05$ ).

| Gruppe | QPA<br>Mittelwert | Anteil<br>ganzzahliger<br>Quotienten (%) | $\Delta$ QPA    |
|--------|-------------------|------------------------------------------|-----------------|
| I      | 4,83 $\pm$ 0,35   | 21,21 $\pm$ 1,61                         | 0,29 $\pm$ 0,02 |
| II     | 5,02 $\pm$ 0,24   | 18,05 $\pm$ 2,22                         | 0,35 $\pm$ 0,04 |
| III    | 4,43 $\pm$ 0,22   | 22,85 $\pm$ 2,04                         | 0,30 $\pm$ 0,03 |
| IV     | 4,58 $\pm$ 0,56   | 22,29 $\pm$ 3,34                         | 0,28 $\pm$ 0,04 |
| V      | 4,85 $\pm$ 0,24   | 18,86 $\pm$ 1,41                         | 0,36 $\pm$ 0,03 |
| VI     | 4,73 $\pm$ 0,25   | 22,35 $\pm$ 1,54                         | 0,28 $\pm$ 0,03 |
| Alle   | 4,74 $\pm$ 0,18   | 21,01 $\pm$ 1,12                         | 0,31 $\pm$ 0,02 |

Tabelle 15: Nächtlicher QPA-Mittelwert, mittlerer prozentualer Anteil der ganzzahligen Quotienten und mittlere Abweichung vom individuell häufigsten ganzzahligen Wert ( $\Delta$ QPA) mit den jeweiligen mittleren Fehlern, berechnet für die Alters- und Diagnosegruppen sowie für das Gesamtkollektiv.

## IV. Diskussion

### 1. Zur Methodik

Bei der Bewertung unserer Ergebnisse ist zunächst zu berücksichtigen, daß die Zahl der Kinder in jeder Gruppe recht klein ist. Bei Einteilung der Kinder nach der Art ihrer Erkrankung (Gruppen E, O und G) stimmen daher die Gruppen in ihrer Altersverteilung nicht überein, und bei Einteilung in die Altersgruppen I, II und III enthalten diese bevorzugt verschiedene Krankheitsbilder (vergl. Tab. 1). Bei der Darstellung der Einzelbefunde wurde jeweils auf diese Schwierigkeit eingegangen. Insgesamt müssen wir wegen der relativ kleinen Fallzahl und Inhomogenität der Gruppen bei verallgemeinernden Folgerungen natürlich entsprechend zurückhaltend sein.

Andererseits können wir auf Grund unserer Meßmethodik annehmen, daß unsere Ergebnisse für jedes untersuchte Kind ein sehr hohes Maß an Aussagekraft besitzen, denn sie stützen sich auf kontinuierliche Messungen jedes Pulsschlages und jedes Atemzuges während zweier bzw. dreier Nächte.

Die im Methodikkapitel erwähnte Quote von Fehlmessungen (3,3% aller Pulsmessungen, 8,5% aller Atemmessungen) scheint uns besonders für die Herzfrequenz niedrig und auch für die Atemfrequenz vertretbar zu sein, vor allem deshalb, weil praktisch alle Fehlmessungen (durch die erwähnte optische und akustische Kontrolle durch den Untersucher) vor der Auswertung eliminiert werden konnten. Die Ausfälle bei der Pulsregistrierung beruhten z.T. auf sehr extremen Schlaflagen der Kinder mit entsprechender Verlagerung der elektrischen Herzachse (vergl. EINTHOVEN u. Mitarb. 1913), z.T. auf der Lösung einer Ableitelektrode. Die Schwierigkeiten der Atemregistrierung traten natürlich einmal dann auf, wenn Kinder ihren Kopf in die Kissen vergruben o.ä., ferner aber bei solchen Kindern, die während längerer Zeit durch den Mund atmeten. Zwar ließ sich durch entsprechende Empfindlichkeitssteigerung am Registriergerät auch jetzt noch eine geringe Temperaturdifferenz im Naseneingang auswerten, jedoch traten dabei teilweise pulssynchrone Zusatzimpulse in Erscheinung. Auf Grund der von STOKER (1967) registrierten Kurven vermuten wir, daß die sog. kardio-pneumatischen Bewegungen (HOLZLÖHNER 1937) dabei eine Rolle spielen. Eine nähere Abklärung durch oscillographische Registrierung war uns leider nicht möglich.

Weiterhin war durch unsere Registriertechnik gewährleistet, daß sich die Kinder auch bei kurzen Wachperioden während der Nacht unbeobachtet fühlten - was besonders für eine unverfälschte Atemregistrierung von Bedeutung ist (vergl. HILDEBRANDT 1953a) - und in der Regel sogar in ihrem Verhalten erkennen ließen, daß sie die Tatsache der Untersuchung recht bald vergessen hatten.

Wir konnten deshalb auch darauf verzichten, generell die erste Untersuchungsnacht wegen Verfälschungen durch die Belastung der Untersuchungssituation nicht zu verwerten, wie es bei polygraphischen Schlafuntersuchungen üblich ist (EHRENSTEIN u. Mitarb. 1969, JOVANOVIĆ 1971 u.a.). Auch STORCH (1967) hatte bei seiner, der unsrigen sehr ähnlichen Meßmethodik anhand des elektroencephalographisch bestimmten Schlaftiefenverlaufes gefunden, daß seine Registrierung den normalen Schlafverlauf nicht wesentlich beeinträchtigte. Ferner trug die Tatsache, daß wir die Kinder größtenteils in einer gewohnten Umgebung untersuchten, dazu bei, psychogene Störeffekte durch die Untersuchung gering zu halten.

Die von uns registrierten 15-Minuten-Summen von Puls und Atmung sind unabhängig von kurzzeitigen Schwankungen beider Funktionen, wie sie z.B. für die Pulsfrequenz im Wellenlängenbereich zwischen Atemrhythmus und sog. 1-min-Rhythmus beschrieben sind (GOLENHOVEN u. HILDEBRANDT 1957, 1958 u.a.). Auch die in neuerer Zeit beobachteten sprunghaften, sehr ausgeprägten phasischen Frequenzänderungen von Puls und Atmung während der Traumphasen (ASERINSKY u. KLEITMAN 1955, SNYDER u. Mitarb, 1964, ENGEL 1971, JOVANOVIĆ 1971, SCHIEBER u. Mitarb. 1971 u.a.) kommen in unseren 15-min-Summen nicht sicher abgrenzbar zum Ausdruck. Entsprechend unserer Fragestellung scheinen sie uns somit besonders geeignet, die tagesrhythmischen Veränderungen von Puls und Atmung aufzuzeigen; sie geben jedoch im Vergleich zu den sonst häufig benutzten Frequenzmessungen im Stundenabstand (vergl. HILDEBRANDT 1953b, 1960) oder den sog. 1-Stundensummen (vergl. FLOTHO 1969) ein differenzierteres Bild von zeitlicher Lage und Wert der nächtlichen Minima sowie vom Verhalten des QPA während der Nacht.

## 2. Zu den Ergebnissen

### a) Übersicht der wichtigsten Ergebnisse

Zur besseren Übersicht seien zunächst noch einmal die wichtigsten Besonderheiten der einzelnen Gruppen zusammengefaßt:

Die Gruppe der gesunden Kinder (Gruppe G) zeigte für Puls- und Atemfrequenz den ruhigsten Kurvenverlauf. Für beide Größen lagen die Frequenzminima um 3<sup>00</sup> Uhr nachts, der Wendestunde des sog. biologischen Tages. Der nächtliche Abfall von Puls- und Atemfrequenz war geringer als bei den kranken Kindern. Für die Pulsfrequenz ergab sich nur bei dieser Teilgruppe eine deutliche lineare Altersabhängigkeit. Nur bei diesen Kindern war auch die Abnahme der Pulsfrequenz mit einer parallelen Streuungsabnahme verbunden. - Die Bevorzugung ganzzahliger Puls-Atem-Quotienten war bei den gesunden Kindern klar ausgeprägt.

Die Gruppe der Epileptiker (Gruppe E) war durch den deutlich verspäteten und verlängerten Abfall von Puls- und Atemfrequenz ausgezeichnet. Gleichzeitig lagen bei ihr Puls- und Atemfrequenzminimum zeitlich auffällig nah beieinander. Ferner hatten die Epileptiker den größten nächtlichen Pulsfrequenzabfall bei gleichzeitig größter intraindividuellder Pulsfrequenzvariabilität; Pulsfrequenz- und Pulsfrequenzstreuungskurve verliefen geradezu entgegengesetzt. Bei der Atmung fiel dagegen die sehr gute Übereinstimmung der Frequenz- mit der Streuungskurve auf. - Bezüglich des Puls-Atem-Quotienten zeigten die Epileptiker das breiteste interindividuelle Quotientenspektrum, eine Bevorzugung ganzzahliger Werte war aber nachweisbar.

Die Gruppe der kranken Kinder ohne Krampfanfälle (Gruppe O) zeigte einen frühen Abfall von Puls- und Atemfrequenz mit gehäuft früh liegenden Puls- und Atemfrequenzminima. Die Zeit des Pulsminimums hing bei diesen Kindern als einziger Teilgruppe vom Frequenzniveau ab, wobei der Zeitpunkt des Pulsminimums um so später lag, je höher der individuelle nächtliche Pulsfrequenz-

mittelwert war. Für die Atemfrequenz ergab sich bei diesen Kindern der größte nächtliche Frequenzabfall, gleichzeitig war die intraindividuelle Atemfrequenzstreuung bei ihnen am größten. Die Kurven von Atemfrequenz und Atemfrequenzstreuung zeigten kaum eine Übereinstimmung. Ferner war die interindividuelle Streuung der Atemfrequenz bei der Gruppe O am kleinsten, bei ihr waren intra- und interindividuelle Streuung von gleicher Größenordnung. Für den QPA ließ sich bei diesen Kindern eine Bevorzugung ganzzahliger Werte nicht nachweisen. Die durchschnittliche Abweichung vom häufigsten ganzzahligen Wert war bei ihnen signifikant größer als bei den gesunden Kindern.

Die Unterschiede zwischen den Altersgruppen waren fast alle durch die in ihnen enthaltenen kranken Kinder erklärbar. Nur die sehr hohe intraindividuelle Pulsfrequenzstreuung in der Gruppe II (10-12 Jahre) könnte als altersspezifisches Phänomen angesehen werden. - Da außerdem die Pulsfrequenz und die interindividuelle Pulsfrequenzstreuung mit steigendem Lebensalter abnehmen und der Zeitpunkt der geringsten Pulsfrequenzstreuung im Schlafverlauf mit steigendem Lebensalter immer später lag, waren auch für diese Größen entsprechende Unterschiede zwischen den Altersgruppen darstellbar.

## b) Besprechung der Ergebnisse

### aa) Gesunde Kinder (Gruppe G)

Der mittlere Verlauf von Puls- und Atemfrequenz während der Nacht (Stundenmittelwertkurven) entsprach bezüglich der Form vollkommen den vom Erwachsenen bekannten Kurvenbildern (HILDEBRANDT 1953b, 1960, PÖLLMANN 1972 u.a.). Während der Nacht ansteigende Atemfrequenzverläufe (vergl. HILDEBRANDT 1953a) kamen bei unseren Kindern, entsprechend den altersgemäß recht hohen abendlichen Atemfrequenzwerten, nicht vor. Besonders hervorzuheben ist die gute Einordnung beider Funktionen in die allgemeine

biologische Tagesrhythmik, indem die Minima von Puls- und Atemfrequenz mit den Wendestunden des sog. biologischen Tages (HILDEBRANDT 1953c, 1960, 1962a, 1967) genau zusammenfielen. Dieser Befund deckt sich mit den Angaben von HELLBÜRGE u. Mitarb. (1956) sowie LANGE (1957), nach denen im frühen Kindesalter die nächtlichen Pulsfrequenzminima zunächst wesentlich früher als 3<sup>00</sup> Uhr liegen, jedoch im Schulalter durch eine kontinuierliche "Rechtsverschiebung" der Tageskurve schließlich etwa um 3<sup>00</sup> Uhr zu liegen kommen. Auch FLOTHO (1969) fand das durchschnittliche nächtliche Pulsminimum um 3<sup>00</sup> Uhr; er konnte jedoch u.a. in drei Einzelfällen beobachten, daß nach dem Miterleben eines erregenden Fernsehfilms am Abend die Pulsfrequenz während der ganzen Nacht erhöht blieb und das Minimum erst um 5<sup>00</sup> bzw. 6<sup>00</sup> Uhr erreicht wurde (vergl. auch RUTENFRANZ u. HELLBÜRGE 1960). JOVANOVIĆ (1971) berichtete bei Erwachsenen wie bei Kindern generell von einer späteren Lage des Minimums um 5<sup>00</sup> Uhr. Vielleicht liegt der Grund für diesen Befund darin, daß bei seinen Versuchen die Einschlafzeit mit 23<sup>00</sup> Uhr relativ spät lag.

Im Einzelfall war allerdings auch bei den von uns untersuchten Kindern, wie die zeitliche Verteilung der 15-min-Minima zeigt (vergl. Abb. 4 bzw. Abb. 9), die Einordnung in den biologischen Tag keineswegs immer ideal ausgeprägt. Die von HILDEBRANDT (1960) beschriebene Abhängigkeit der zeitlichen Lage der Puls- und Atemfrequenzminima von deren mittlerem Frequenzniveau bzw. auch die von FLOTHO (1969) gefundene positive Korrelation zwischen zeitlicher Lage und absoluter Größe des Pulsminimums konnten wir bei unseren gesunden Kindern zwar richtungsmäßig, aber nicht statistisch gesichert bestätigen.

Das Ausmaß des nächtlichen Abfalls von Puls- und Atemfrequenz war im Vergleich zu der von HILDEBRANDT (1960, 1962a) ermittelten Amplitude der tagesrhythmischen Pulsfrequenzschwankungen von ca. 20% sehr groß, zumal wir nur die Nachthälfte der Tagesrhythmik in unseren Messungen erfaßten. Mit uns übereinstimmend hatte auch LANGE (1957) bei Kindern von 4 bis 13 Jahren eine Tagesamplitude der Pulsfrequenzrhythmik von über 30% ermittelt. -

Im Gegensatz zu der von FLOTHO (1969) beschriebenen negativen Korrelation zwischen der Tagesamplitude und der zeitlichen Lage des Pulsminimums errechneten wir bei unseren gesunden Kindern eine sehr deutliche positive Korrelation zwischen dem Ausmaß des nächtlichen Pulsfrequenzabfalls und der zeitlichen Lage des Minimums. - Eine Abhängigkeit der Größe des nächtlichen Frequenzabfalls von der abendlichen Ausgangslage im Sinne des sog. WILDER'schen Ausgangswert-Gesetzes, entsprechend den Befunden von HUNGERLAND u. WALTHER (1957) für die Pulsfrequenz, konnten wir für Puls und Atmung bei der recht geringen Zahl unserer gesunden Kinder trotz eines ziemlich hohen Korrelationskoeffizienten nur bei Zusammenfassung aller Kinder statistisch sichern. Diese Beziehung entspricht im übrigen auch dem mit zunehmendem Lebensalter abnehmenden Pulsniveau.

Unsere Ergebnisse über das mittlere Nachtniveau der Pulsfrequenz (nächtliche Mittelwerte, nächtliche Minima) stimmen etwa mit den von HUNGERLAND u. ZENS (1952) im vergleichbaren Altersbereich gefundenen Mittelwerten überein. Sie liegen damit etwas niedriger als die von LANGE (1957) gemessenen Pulsminima (Differenz ca. 8 Schläge/min) und deutlich niedriger als die von FLOTHO (1969) ermittelten nächtlichen Pulsfrequenzwerte (Differenz ca. 15 Schläge/min).

Theoretisch ist bei fortlaufender Pulszählung unter Einschluß kurzzeitiger Frequenzsteigerungen, z.B. durch Bewegungen (vergl. KLEWITZ 1913) oder Traumphasen (vergl. JOVANOVIC 1971), eher ein höheres mittleres Frequenzniveau zu erwarten als bei vorsichtigen intermittierenden Messungen, wie sie den Arbeiten von HUNGERLAND u. ZENS (1952) sowie von LANGE (1957) zugrundeliegen. Das hohe Frequenzniveau der von FLOTHO (1969) in fortlaufender Registrierung untersuchten Kinder hätte so gedeutet werden können. Durch unsere Messungen zeigt sich jedoch, daß eine intermittierende Pulsregistrierung vom mittleren nächtlichen Verhalten des Pulses ein durchaus zutreffendes Bild gibt. Die von FLOTHO gefundenen hohen Pulswerte finden vielleicht in den orthopädischen Erkrankungen der von ihm untersuchten Kinder eine Erklärung.

Das von uns ermittelte nächtliche Atemfrequenzniveau lag ebenfalls sehr niedrig und deutlich unter den in der Literatur für das Kindesalter angegebenen Werten (ENGEL 1931, DÖNHARDT 1953, BROCK 1954 u.a.). Die nächtlichen Minima sind erstaunlicherweise durchaus von gleicher Größenordnung wie bei Erwachsenen (HILDEBRANDT 1953a, 1960, JOVANOVIĆ 1971, PÖLLMANN 1972 u.a.). Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen einer Arbeit von ZERM (1973), der neuerdings bei stündlichen Messungen an gesunden Schulkindern verschiedenen Alters die nächtlichen Atemfrequenzminima im Bereich von 15/min fand.

Für die Pulsfrequenz konnten wir eine lineare Altersabhängigkeit des nächtlichen Frequenzniveaus deutlich machen, im Gegensatz zu HUNGERLAND u. ZENS (1952), die eine Abnahme der Pulsfrequenz jenseits des 3. Lebensjahres nicht nachweisen konnten. Ein Grund dafür liegt sicherlich darin, daß diese Autoren bei ihrer Untersuchung außerdem die intraindividuelle Variabilität der Pulsfrequenz ebenso groß fanden wie die Unterschiede von Kind zu Kind. Wir konnten bei unseren Kindern zeigen, daß die interindividuelle Variabilität der Pulsfrequenz mit zunehmendem Lebensalter abnimmt, und daß bei Kindern über 12 Jahren intra- und interindividuelle Variabilität etwa gleich groß sind. Da die meisten der von HUNGERLAND u. ZENS untersuchten Kinder jedoch jünger als 13 Jahre waren, vermuten wir den Grund für die von ihnen beschriebene hohe intraindividuelle Streuung des Pulses in ihrer Meßmethodik (nur 4 Messungen über je 1 Minute pro Nacht).

Während also eine intermittierende Pulsmessung zur Darstellung des mittleren nächtlichen Verhaltens und des nächtlichen Niveaus ebenso leistungsfähig zu sein scheint wie eine kontinuierliche Messung, dürfte letztere zur genaueren Charakterisierung des Einzelfalles und, damit zusammenhängend, zur Darstellung der Altersabhängigkeit der Pulsfrequenz einer diskontinuierlichen Meßmethode überlegen sein.

Der Grund dafür, daß wir für die Atemfrequenz eine lineare Altersabhängigkeit nicht gefunden haben, liegt sicherlich in der im Vergleich zum Puls sehr viel größeren intra- und

interindividuellen Variabilität der Atmung bei der relativ kleinen Zahl von untersuchten Kindern. Auch nach logarithmischer Transformation (vergl. DÖNHARDT 1953) errechnete sich keine signifikante Korrelation zwischen Atemfrequenz und Lebensalter.

Unsere Befunde über das mittlere Niveau des Puls-Atem-Quotienten während der Nacht lassen sich zunächst in die spärlichen Angaben anderer Untersucher über den QPA bei Kindern (ANDERS 1928, v. ZABERN 1970, MATTHIOLIUS 1971, ZERM 1973) befriedigend einordnen. Alle Autoren fanden bei relativ breiter Streuung Quotienten im Bereich zwischen 4 und 5 am häufigsten.

Überraschend ist die von uns aufgezeigte Bevorzugung verschiedener ganzzahliger Quotienten während der Nacht, abweichend von der bei Erwachsenen ganz überwiegend eintretenden Normalisierung des Quotienten auf den ganzzahligen Wert 4 (HILDEBRANDT 1953b, 1960, STORCH 1967, PÖLLMANN 1972 u.a.). Jedoch gibt es, wie bereits in der Einleitung erwähnt, in verschiedenen Untersuchungen Hinweise dafür, daß auch bei Erwachsenen eine ähnliche Hervorhebung anderer ganzzahliger Puls-Atem-Quotienten als 4 vorkommt. So fand HILDEBRANDT (1960) für die Regelgüte der Puls- und Atemfrequenzregulation nach Arbeitsbelastung neben dem Hauptoptimum bei einem vorangehenden Ruhe-QPA von 4 auch Nebenoptima bei anderen ganzzahligen Quotienten. DAUMANN (1965) vermutete, daß sich auch während mittlerer Arbeitsbelastung mehrere ganzzahlige Puls-Atem-Quotienten bevorzugt einstellen, während er bei stärkster Arbeitsbelastung eine deutliche Zentrierung der Quotienten auf den ganzzahligen Wert 4 beobachtete. STORCH (1967) fand für die Phasenkopplung von Puls und Atmung Optima bei Puls-Atem-Quotienten von 4 und 3. EHRENSTEIN u. Mitarb. (1969) zeigten eine Abbildung, in der der QPA während des Schlafes um den ganzzahligen Wert 5 pendelt. - Weiterhin ist für eine Fülle anderer rhythmischer Erscheinungen nachgewiesen worden, daß sie zueinander bevorzugt in ganzzahligen Frequenzverhältnissen stehen (Lit.-Übersicht s. HILDEBRANDT 1967), so daß sich in

Ruhe beim Menschen eine umfassende, harmonische, d.h. in ganzzahligen Frequenzproportionen geordnete, rhythmische Funktionsordnung ausbildet. Offenbar ist im Kindesalter diese Tendenz zu einer harmonischen zeitlichen Koordination für Puls und Atmung bereits wirksam, ohne daß sich jedoch das für den Erwachsenen normale Verhältnis zwischen beiden Funktionen einzustellen vermag. Entsprechend resultiert eine Bevorzugung verschiedener ganzzahliger Frequenzverhältnisse. Dazu paßt gut, daß ENGEL u. Mitarb. (1972) bei Kindern die Phasenkoppelung zwischen Herz- und Atemrhythmus quantitativ und qualitativ in gleichem Umfange ausgeprägt fanden wie bei Erwachsenen. Vermutlich sind demnach im Wachstumsalter die für die absoluten quantitativen Frequenzbeziehungen maßgebenden Faktoren noch nicht voll entwickelt (vergl. dazu HILDEBRANDT u. DAUMANN 1965, ENGEL u. Mitarb. 1972).

Aus der Tatsache, daß die durchschnittliche Annäherung an den ganzzahligen Quotienten 5 am ausgeprägtesten ist, läßt sich vermuten, daß im Kindesalter ein Frequenzverhältnis zwischen Puls und Atmung von 5:1 noch am leichtesten eingestellt werden kann. Interessant ist aber in diesem Zusammenhang, daß sich nur für den Quotienten 4 eine gute Einordnung in den sog. biologischen Tag darstellen läßt, indem sich das Häufigkeitsmaximum dieses Wertes um 3<sup>00</sup> Uhr, der Wendestunde des biologischen Tages (HILDEBRANDT 1953c) befindet, während sich für die anderen ganzzahligen Puls-Atem-Quotienten, insbesondere für den Quotienten 5, zu dieser Zeit eher Minima ihrer Verteilungsdiagramme zeigen. Ob man daraus verallgemeinernd folgern darf, daß nur ein Puls-Atem-Quotient von 4 sich gleichzeitig in die allgemeine Tagesrhythmik der Umgebung harmonisch einordnet, während andere ganzzahlige Quotienten lediglich Ausdruck einer in sich harmonischen Ordnung der individuellen Puls- und Atemrhythmen sind, müßte durch weitere systematische Untersuchungen über die Tagesgänge verschiedener ganzzahliger Puls-Atem-Quotienten geklärt werden.

Die von uns gefundene etwa 4-stündige Periodik der mittleren Abweichung des QPA-Stundenmittelwertes vom individuell häufigsten ganzzahligen QPA ist unseres Wissens bisher noch nicht beschrieben, jedoch weisen wir einschränkend ausdrücklich darauf hin, daß die Verteilungsdiagramme der ganzzahligen Puls-Atem-Quotienten über die Nacht keine dieser Periodik entsprechende Häufigkeitsgipfel in 4-stündigem Abstand zeigten.

Einer maximalen Annäherung des durchschnittlichen QPA an den individuell häufigsten ganzzahligen Wert entsprach also nicht eine Häufung tatsächlich gemessener Puls-Atem-Quotienten (15-min-Werte), wodurch die Aussagekraft der Mittelwertkurven natürlich erheblich eingeschränkt wird. Da andererseits die 4-stündige Periodik in allen Einzelgruppen vorhanden war, scheint sie uns doch nicht zufällig zu sein, so daß wir auf die Wiedergabe der entsprechenden Kurven nicht verzichten wollten. Im übrigen ist eine Überlagerung des Tagesganges verschiedener Meßgrößen durch Submultiple der 24-Stunden-Periode, zu denen auch die 4-stündige Periode gezählt werden muß, wiederholt beobachtet und als Ausdruck einer reaktiven Belastung des Organismus gedeutet worden (MENZEL 1956, HILDEBRANDT 1962b, DAMM 1972).

#### bb) Kranke Kinder (Gruppen E und O)

Die beiden Gruppen der kranken Kinder wichen in mehrfacher Hinsicht von den gesunden Kindern ab; gleichzeitig unterschieden sie sich auch untereinander und zeigten teilweise ein gegensätzliches Verhalten.

Dabei muß für die Gruppe der Epileptiker erwähnt werden, daß diese Kinder natürlich ausnahmslos zur Zeit der Untersuchung unter z.T. erheblicher medikamentöser Therapie standen. Auch 2 der kranken Kinder ohne Krampfanfälle wurden medikamentös behandelt (vergl. Tab. 1). JOVANOVIĆ (1965, 1968) hat sehr detailliert für die verschiedenen Formen der Epilepsie gezeigt, wie sich den einzelnen Formen bestimmte pathologische Verläufe der Schlaftiefe während der Nacht zuordnen lassen, und daß sich der Schlafverlauf nach entsprechender medikamentöser Therapie weitgehend normalisieren kann. Weiterhin ist ein normalisierender Einfluß von Barbituraten auf den QPA beschrieben (HILDEBRANDT 1954, 1955a, 1955b, 1960); auch für verschiedene Narkotika (DAUMANN 1965, HILDEBRANDT u. DAUMANN 1965, ENGEL u. Mitarb. 1972) und Psychopharmaka (EHRENSTEIN u. Mitarb. 1969, OTTO 1969) sind Auswirkungen auf Puls und Atmung sowie

auf deren Frequenz- und Phasenkoordination nachgewiesen. Insgesamt ist deshalb eine Auswirkung der Medikamente, unter denen die von uns untersuchten Kinder standen, auf unsere Versuchsergebnisse anzunehmen, ohne daß wir über deren Größe und Richtung sichere Aussagen machen können. Eine Differenzierung, welche Effekte krankheits- und welche medikamentspezifisch sind, muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Gemeinsam war beiden Gruppen kranker Kinder, daß die Kurvenverläufe im allgemeinen unruhiger waren als die der gesunden Kinder. Weiter war der nächtliche Abfall von Puls- und Atemfrequenz bei ihnen größer und die Einordnung beider Funktionen in den biologischen Tag gestört, wobei die Minima durchschnittlich bei den Epileptikern deutlich später, bei den anderen kranken Kindern früher als 3<sup>00</sup> Uhr lagen. Die Altersabhängigkeit der Pulsfrequenz war bei beiden Gruppen kranker Kinder nicht nachweisbar; die interindividuelle Variabilität der Pulsfrequenz war signifikant höher als bei den gesunden Kindern.

Bei den Epileptikern war ein extrem großer Abfall der Pulsfrequenz während der Nacht feststellbar, der mit einer sehr großen intraindividuellen Variabilität und einem geradezu entgegengesetzten Verlauf von Pulsfrequenz- und Pulsstreuungskurve einher geht. Bei den kranken Kindern ohne Krampfanfälle waren die gleichen Befunde für die Atemfrequenz zu erheben. Die von HILDEBRANDT (1960) bei gesunden Erwachsenen während der Nacht gefundene Abnahme der Variabilität parallel zur Abnahme von Puls- und Atemfrequenz<sup>+</sup>) als Ausdruck einer nächtlichen Normalisierung war also bei den Epileptikern für die Pulsfrequenz, bei den kranken Kindern ohne Krampfanfälle für die Atemfrequenz in sehr auffälliger Weise gestört.

+ ) Von den von HILDEBRANDT beschriebenen Fällen mit ansteigendem Atemfrequenzverlauf während der Nacht sei hier abgesehen, da entsprechende Verläufe bei den von uns untersuchten Kindern nicht vorkamen.

Andererseits war bei den beiden Gruppen kranker Kinder je eine vom gesunden Erwachsenen bekannte Erscheinung besonders klar und deutlicher als bei den gesunden Kindern ausgeprägt. Sie betraf bei den Epileptikern das Verhalten der Atmung, bei den kranken Kindern ohne Krampfanfälle das der Pulsfrequenz, also jeweils diejenige Funktion, die von der eben erörterten Störung der nächtlichen Normalisierung nicht betroffen war. Bei den Epileptikern zeigte sich nämlich die erwähnte Parallelität von Frequenz- und Streuungsverlauf für die Atemfrequenz ganz besonders deutlich, bei den kranken Kindern der Gruppe O ließ sich, entsprechend den Befunden von HILDEBRANDT (1960) und FLOTHO (1967), für den Puls eine positive Korrelation zwischen Frequenzniveau und Zeitpunkt des Minimums nachweisen.

Auch hinsichtlich des QPA bestanden zwischen kranken und gesunden Kindern nachweisbare Unterschiede. So ließ sich bei den kranken Kindern ohne Krampfanfälle keine Bevorzugung ganzzahliger Werte nachweisen, und die mittlere Abweichung vom individuell häufigsten ganzzahligen Quotienten war für diese Gruppe deutlich größer als für die gesunden Kinder. Bei den Epileptikern war dagegen eine Bevorzugung ganzzahliger Werte vorhanden, diese Teilgruppe fiel aber durch ihr sehr breites QPA-Verteilungsspektrum mit einer entsprechend hohen inter-individuellen Streuung der Quotientwerte auf. Wir sehen in diesen Besonderheiten der Gruppen kranker Kinder Hinweise dafür, daß sich deren Schädigungen auch in der koordinativen Ordnung von Puls und Atmung ausdrücken. In der Literatur fanden wir bisher keinerlei Hinweise auf ein solches abweichendes Verhalten hirngeschädigter Kinder. Die erwähnten Untersuchungen von ENGEL u. Mitarb. (1972) über die Wirkung verschiedener Narkotika auf die Koordination von Herz- und Atemrhythmus haben allerdings gezeigt, daß insbesondere die Frequenzabstimmung beider Rhythmen an die Intaktheit kortikaler und subkortikaler Hirnstrukturen gebunden ist.

Im übrigen scheinen uns die geschilderten Besonderheiten im Verhalten des Puls-Atem-Quotienten diskreter zu sein als

die auffälligeren Befunde, durch die sich bei der getrennten Untersuchung von Puls und Atmung die kranken von den gesunden Kindern unterschieden. Im Gegensatz zu KIHN (1962), die auf Grund ihrer Erfahrungen besonders hervorhob, daß der Puls-Atem-Quotient auf Krisen im Heilungsverlauf sehr viel empfindlicher reagiere als die Pulsfrequenz, scheinen uns also bei den von uns untersuchten Kindern mit stationären chronischen Erkrankungen charakteristische Besonderheiten bei der getrennten Betrachtung des Puls- und Atemverhaltens stärker zum Ausdruck zu kommen als bei Betrachtung des Puls-Atem-Quotienten. Diese Unstimmigkeit könnte eine Erklärung darin finden, daß es sich bei den Arbeiten von KIHN (1962) um Längsschnittuntersuchungen an Patienten handelte, deren Zustand sich während einer wochen- oder monatelangen Therapie änderte, während wir nach Art einer Querschnittuntersuchung stationäre pathologische Zustandsbilder mit gesunden Personen vergleichen, wobei natürlich die dargestellte sehr große interindividuelle Variabilität des QPA während des Nachtschlafes in dem von uns untersuchten Lebensalter stark ins Gewicht fällt. Eine Klärung dieser Vermutung bleibt weiteren Untersuchungen, die auch erwachsene hirngeschädigte Personen einbeziehen sollten, vorbehalten.

#### cc) Altersgruppen I, II und III

Wie bei der Diskussion über die Befunde der gesunden Kinder bereits besprochen wurde, hatte sich eine signifikante lineare Altersabhängigkeit für das nächtliche Pulsfrequenzniveau, die interindividuelle Pulsfrequenzvariabilität und den Zeitpunkt der geringsten Pulsfrequenzvariabilität während der Nacht ergeben. Diese drückte sich natürlich auch in den entsprechenden Unterschieden zwischen den drei Altersgruppen aus. Wir hatten jedoch die Aufteilung in die Altersgruppen insbesondere deshalb vorgenommen, um auch eventuelle altersabhängige Besonderheiten sichtbar zu machen, die sich

nicht durch lineare Korrelationskoeffizienten darstellen lassen. In Frage kamen Auffälligkeiten des Kurvenverlaufes ebenso wie nicht lineare Altersabhängigkeiten von Mittelwerten. Wie an den entsprechenden Stellen jeweils ausgeführt wurde, ließen sich aber fast alle Unterschiede dieser Art zwischen den Altersgruppen als durch die in ihnen enthaltenen kranken Kinder bedingt interpretieren. Eine Ausnahme bildete nur die auffällig hohe intraindividuelle Variabilität der Pulsfrequenz bei den Kindern zwischen 10 und 12 Jahren. Sie muß die Beurteilung der Pulsfrequenz und die Aufstellung von Normen in diesem Alter besonders erschweren. Vergleichbare Untersuchungen an Kindern und Jugendlichen (MATTHIOLIUS 1970, ZERM 1973) haben für dieses Phänomen keinen weiteren Beleg erbracht. Auf die Befunde von HUNGERLAND u. ZENS (1952), die eine solch hohe intraindividuelle Variabilität der Pulsfrequenz im ganzen Altersbereich von 3 bis 14 Jahren fanden, wurde bereits hingewiesen.

## V. Zusammenfassung

An 8 gesunden und 13 hirngeschädigten Kindern (5 Epileptikern, 8 Kindern ohne Krampfanfälle) im Alter zwischen 7 und 16 Jahren wurden während des Nachtschlafes insgesamt 53 auswertbaren Nächten die 15-min-Summen von Puls und Atmung kontinuierlich registriert.

Die gesunden Kinder zeigten im Durchschnitt einen ruhigen Abfall von Puls- und Atemfrequenz bis 3<sup>00</sup> Uhr und einen leichten Wiederanstieg bis zum Erwachen. Durch diese zeitliche Lage der Minima fügten sie sich gut in die allgemeine Ordnung des sog. biologischen Tages ein. Das Ausmaß des durchschnittlichen nächtlichen Frequenzabfalles war für beide Funktionen mit über 30% sehr groß. Es hing, entsprechend dem sog. WILDER'schen Ausgangswertgesetz, von der abendlichen Ausgangslage ab. Der Zeitpunkt des Pulsminimums lag um so später, je größer der nächtliche Pulsfrequenzabfall war.

Das mittlere nächtliche Niveau von Puls- und Atemfrequenz war für das Alter der untersuchten Kinder mit ca. 72/min bzw. 16/min überraschend niedrig. Für die Pulsfrequenz ließ sich eine lineare Altersabhängigkeit nachweisen.

Die interindividuelle Variabilität von Puls- und Atmung war in der Regel deutlich größer als die intraindividuelle Variabilität. Für die Pulsfrequenz ließ sich eine Abnahme der interindividuellen Variabilität mit steigendem Lebensalter deutlich machen, so daß bei Kindern über 12 Jahren beide Streuungsmaße etwa von gleicher Größenordnung waren.

Die nächtlichen Puls-Atem-Quotienten (QPA) schwankten erheblich zwischen 3,2 und 7,2. Dabei wurden verschiedene ganzzahlige Quotienten bevorzugt eingestellt. Die mittlere Abweichung der QPA-Stundenmittelwerte vom individuell häufigsten ganzzahligen Wert zeigte bei allen Kindern eine deutliche etwa 4-stündige Periodik; die beste durchschnittliche Annäherung an den individuell häufigsten ganzzahligen Wert erfolgte um 3<sup>00</sup> oder 4<sup>00</sup> Uhr. Sie war für den ganzzah-

ligen Wert 5,0 am ausgeprägtesten.

Die kranken Kinder zeigten einige der genannten Gesetzmäßigkeiten nicht, andere dagegen besonders deutlich ausgeprägt. Dabei unterschieden sich die Epileptiker und die kranken Kinder ohne Krampfanfälle durch teilweise entgegengesetztes Verhalten:

Die Einordnung in die Rhythmik des sog. biologischen Tages war bei beiden Gruppen kranker Kinder gestört, die Epileptiker hatten ihr durchschnittliches Puls- und Atemfrequenzminimum später, die anderen kranken Kinder früher als 3<sup>00</sup> Uhr. Das Ausmaß des nächtlichen Frequenzabfalls war bei den Epileptikern für die Pulsfrequenz, bei den kranken Kindern ohne Krampfanfälle für die Atemfrequenz auffällig groß; gleichzeitig war die jeweils entsprechende intraindividuelle Streuung sehr ausgeprägt und die nächtliche Frequenzabnahme nicht mit einer parallelen Streuungsabnahme verbunden. Dagegen fiel bei den Epileptikern für die Atemfrequenz gerade die besonders gute Übereinstimmung zwischen Frequenz- und Streuungskurve ins Auge; für die kranken Kinder ohne Krampfanfälle errechnete sich als einzige Teilgruppe eine positive Korrelation zwischen Frequenzniveau und zeitlicher Lage des Pulsminimums.

Hinsichtlich des mittleren Niveaus von Puls- und Atemfrequenz waren zwischen gesunden und kranken Kindern keine signifikanten Unterschiede vorhanden. Die Altersabhängigkeit der Pulsfrequenz war jedoch in beiden Gruppen kranker Kinder so verwischt, daß die entsprechenden Korrelationskoeffizienten die Signifikanzschränke nicht mehr erreichten. Dabei war die interindividuelle Pulsfrequenzstreuung bei ihnen deutlich höher als bei den gesunden Kindern.

Eine Bevorzugung ganzzahliger Puls-Atem-Quotienten war für die kranken Kinder ohne Krampfanfälle nicht nachweisbar; bei den Epileptikern war sie vorhanden, jedoch zeigten diese Kinder ein auffällig breites QPA-Spektrum, die bei ihnen vorkommenden Werte reichten von 2,4 bis 7,4.

Eine lineare Altersabhängigkeit konnte für das nächtliche Pulsfrequenzniveau, die interindividuelle Pulsfrequenzvariabilität und für den Zeitpunkt der geringsten Pulsfrequenzvariabilität während der Nacht nachgewiesen werden. Ferner ergab sich für die mittlere Altersgruppe (Kinder zwischen 10 und 12 Jahren) eine auffällig hohe intraindividuelle Pulsfrequenzvariabilität. - Für den Puls-Atem-Quotienten bestanden keine altersabhängigen Besonderheiten.

# VI. Literaturverzeichnis

- ADOLPH, R.J. u. C. FROMMER: A transducer for recording the instantaneous respiratory waveforms in animals and man  
J. appl. Physiol. 21, 737-740 (1966)
- ANDERS, P.: Über den individuellen Eigenrhythmus beim menschlichen Gange und seine Beziehung zum Rhythmus der Herz- und Atemtätigkeit  
Pflügers Arch. ges. Physiol. 220, 287-299 (1928)
- ARON, H.: Über den Schlaf im Kindesalter  
Mschr. Kinderheilk. 26, 209-216 (1923)
- ASCHOFF, J.: Zeitliche Strukturen biologischer Vorgänge  
Nova Acta Leopoldina N.F. Bd. 21, 143, 147-177 (1959)
- ASCHOFF, J.: Physiologie biologischer Rhythmen  
Ärztl. Praxis 18, 1569 u. 1593-1597 (1966)
- ASERINSKY, E. u. N. KLEITMANN: Two types of ocular motility occurring in sleep  
J. appl. Physiol. 8, 1-10 (1955)
- BROCK, J.: Biologische Daten für den Kinderarzt  
Bd. I, Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1954
- BRODMANN, K.: Pletysmographische Studien am Menschen  
J. Psychol. u. Neurol. 1, 10 ff (1902)
- DAMM, F.: Tagesgang der Hautdurchblutung  
Med. Diss. Marburg/Lahn 1972
- DAUMANN, F.J.: Untersuchungen über die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atmung bei dosierter Tretarbeit  
Med. Diss. Marburg/Lahn 1965
- DOKUMENTA GEIGY: Wissenschaftliche Tabellen, 7. Aufl.  
Basel 1968
- DÖNHARDT, A.: Indikation und Überwachung der künstlichen Dauerbeatmung in der eisernen Lunge  
Klin. Wschr. 31, 837-842 (1953)
- EHRENSTEIN, W., W. MÜLLER-LIMROTH u. K. SCHAFFLER: Ein elektrophysiologischer Beitrag über die Wirkung von 7-Chlor-1,3-dihydro-3-hydroxy-5-phenyl-2H-1,4-benzodiazepin-2-on auf den Tages-schlaf nach einer Nachtschicht  
Arzneim.-Forsch. 19, 1656-1659 (1969)

- EINTHOVEN, W., G. FAHR u. A. de WAART: Über die Richtung und die manifeste Größe der Potentialschwankungen im menschlichen Herzen und über den Einfluß der Herzlage auf die Form des Elektrokardiogramms  
Pflügers Arch. ges. Physiol. 150, 283-315 (1913)
- ENGEL, P., G. HILDEBRANDT u. H.-G. SCHOLZ: Die Messung der Phasenkoppelung zwischen Herzschlag und Atmung beim Menschen mit einem neuen Ko-  
inzipidenmeßgerät  
Pflügers Arch. ges. Physiol. 298, 258-270 (1968)
- ENGEL, P., A. JAEGER u. G. HILDEBRANDT: Über die Beeinflussung der Frequenz- und Phasenkoordination zwischen Herzschlag und Atmung durch verschiedene Narkotika  
Arzneim.-Forsch. 22, 1460-1468 (1972)
- ENGEL, R.R.: Statistical Analysis of heart rate and respiration during the different stages of human sleep  
Ref.Nr. 17, S. 13-14 Abstracts Int. Symp. "The Nature of Sleep", Würzburg 1971
- ENGEL, S.: Die Erkrankungen der Respirationsorgane  
in: M. v. PFAUNDLER u. A. SCHLOSSMANN: Handbuch der Kinderheilkunde Bd. III, S. 619, 4. Aufl., Berlin 1931
- EVANS, C. L.: Principles of Human Physiologie, S. 710  
Philadelphia 1949
- FLOTHO, W.: Der Tagesgang der stündlichen Pulssumme bei körperbehinderten Schülern und seine Abhängigkeit von körperlicher Aktivität und Leistungsfähigkeit  
Med.Diss. Marburg/Lahn 1969
- GARROW, D. H.: Linking of cardiac and respiratory rhythms in new-born babies  
J. Physiol. (Cambridge) 203, 86 P - 87 P, 1969
- GOLENHOFEN, K. u. G. HILDEBRANDT: Über spontan-rhythmische Schwankungen der Muskeldurchblutungen des Menschen  
Zschr. Kreislaufforsch. 46, 257-270 (1957)
- GOLENHOFEN, K. u. G. HILDEBRANDT: Die Beziehungen des Blutdruckrhythmus zu Atmung und peripherer Durchblutung  
Pflügers Arch. ges. Physiol. 267, 27-45 (1958)

- GROLLMANN, A.: Physiological variations in the cardiac output of Man  
Amer. J. Physiol. 95, 274-284 (1930)
- GRUETZMANN, G. F.: De pulsuum in hominibus sanis secundum varias dies partes variis mutationibus  
Med. Diss. Halle (1831)
- GUYTON, A.C.: Analysis of respiratory patterns in Laboratory animals  
Amer. J. Physiol. 150, 78-83 (1947)
- HANNAPEL, J.: Die Eigenfrequenz der glatten Muskulatur vom Blinddarm des Meerschweinchens in Beziehung zum Körpergewicht sowie zu Atem- und Pulsfrequenz  
Med. Diss. Marburg/Lahn 1969
- HELLBRÜGGE, Th.: Chronophysiologie des Kindes  
Verh.Dsch.Ges.Inn.Med. 73, 895-921 (1967)
- HELLBRÜGGE, Th., J. LANGE u. J. RUTENFRANZ: Über die Entwicklung tagesrhythmischer Veränderungen der Pulsfrequenz im Kindesalter  
Zschr. Kinderheilk. 78, 703-722 (1956)
- HENRYSSON, St., O. W. HASELHOFF u. H.-J. HOFFMANN: Kleines Lehrbuch der Statistik  
Berlin: de Gruyter 1960
- HILDEBRANDT, G.: Über den Tagesgang der Atemfrequenz  
Zschr. klin.Med. 150, 433-444 (1953a)
- HILDEBRANDT, G.: Über die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atem  
Zschr. klin. Med. 150, 445-454 (1953b)
- HILDEBRANDT, G.: Über tagesrhythmische Veränderungen der Asymmetrie der Hauttemperaturen  
Arch. physik. Th. 5, 385-399 (1953c)
- HILDEBRANDT, G.: Die Bedeutung der rhythmischen Funktionsordnung von Puls und Atem für den Badearzt  
Zschr. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 1, 7-14 (1954)
- HILDEBRANDT, G.: Über die Bedeutung biologischer Rhythmen für die Balneotherapie  
Hippokrates 26, H. 16, 485-493 (1955a)
- HILDEBRANDT, G.: Untersuchungen über die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atem  
Acta med. Scand., Suppl. 307, 175-184 (1955b)

- HILDEBRANDT, G.: Die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atmung  
Habil.-Schrift Marburg/Lahn 1958, in:  
Zschr. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 7,  
533-615 (1960)
- HILDEBRANDT, G.: Biologische Rhythmen und ihre Bedeutung für die Bäder- und Klimaheilkunde  
in: W. AMELUNG u. A. EVERS: Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde, S. 730 ff  
Stuttgart: Schattauer 1962a
- HILDEBRANDT, G.: Reaktive Perioden und Spontanrhythmik  
Reports VII. Conference of the Society for Biological Rhythm, Siena 1960,  
75-82, Turin: Panminerva Medica 1962b
- HILDEBRANDT, G.: Die Koordination rhythmischer Funktionen beim Menschen  
Verh.Dtsch.Ges.Inn.Med. 73, 921-941 (1967)
- HILDEBRANDT, G. u. F. J. DAUMANN: Die Koordination von Puls- und Atemrhythmus bei Arbeit  
Int.Zschr.angew.Physiol. einschl. Arbeits-physiol. 21, 27-48 (1965)
- HITTMAIR, A. M.: Der Puls-Atem-Quotient als Testmethode  
Zschr. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 13,  
112-152 (1966)
- HOLZLÖHNER, E.: Der Atempuls des Menschen und der Blutstrom in den herznahen Venen  
Arch. Kreislaufforsch. 1, 305-357 (1937)
- HUNGERLAND, H. u. M. ZENS: Die Pulsfrequenz des gesunden Kindes im Alter von 3 bis 14 Jahren zu verschiedenen Nachtzeiten  
Zschr. Kinderheilk. 71, 369-378 (1952)
- HUNGERLAND, H. u. M. WALTHER: Über die Bedeutung des Wilderschen Ausgangswertgesetzes  
Klin. Wschr. 35, 105-110 (1957)
- ISSEL, J., D. BRÄUER, J. WOLBURG u. G. KÜCHLER: Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit des Puls-Atem-Quotienten  
Zschr. ges. Hygiene u. Grenzgeb. 17, 332-337 (1971)
- JÄGER, I.: Untersuchungen über den Seitigkeitsrhythmus der Nasenatmung  
Med.Diss. Marburg/Lahn 1970

- JORES, A.: Physiologie und Pathologie der 24-Stunden-Rhythmik des Menschen  
Erg. Inn.Med. 48, 574-629 (1935)
- JOVANOVIĆ, U.J.: Der normale, abnorme und pathologische Schlaf - polygraphische Registrierungen  
Verh.Dtsch.Ges.Inn.Med. 71, 807-819 (1965)
- JOVANOVIĆ, U.J.: Die sich aus dem natürlichen Schlaf der Epileptiker ergebenden therapeutischen Konsequenzen  
Nervenarzt 39, 199-204 (1968)
- JOVANOVIĆ, U.J.: Normal Sleep in Man. An experimental Contribution to our knowledge of the Phenomenology of sleep  
Stuttgart: Hippokrates 1971
- KATZENBERGER, A.: Puls und Blutdruck bei gesunden Kindern  
Zschr. Kinderheilk. 9, 167-195 (1913)
- KIHN, L.: Der Puls-Atem-Quotient bei chronisch Kranken  
Zschr. klin. Med. 157, 277-290 (1962)
- KIHN, L.: Zum rhythmischen Verhalten des Puls-Atem-Quotienten bei chronisch Kranken  
Arch. physik. Th. 15, 217-224 (1963a)
- KIHN, L.: Zur Frage der Bade- bzw. Behandlungsreaktion bei chronisch Kranken  
Arch. physik. Th. 15, 343-347 (1963b)
- KIHN, L.: Vegetative Langzeitrhythmen bei chronisch Kranken  
Verh. Dtsch.ges.Inn.Med. 73, 647-650 (1967)
- KIRCHHOFF, W.: Über den kindlichen Kreislauf  
Erg.Inn.Med. u. Kinderheilk. N.F. 5, 156-218 (1954)
- KLEWITZ, F.: Der Puls im Schlaf  
Arch.klin. Med. 112, 38-55 (1913)
- KREFT, H.J.: Die Atemzahlen im frühen Kindesalter  
Med. Diss. Münster 1953
- LANGE, J. F.: Über die kindliche Entwicklung einer Tagesperiodik verschiedener Körperfunktionen unter besonderer Berücksichtigung der Pulsfrequenz, der Schlaf-Wach-Verteilung und der Temperatur  
Med.Diss. München 1957

- MATTHIOLIUS, H.: Cardiodoron  
Beitr. Erw. Heilk. 3, 77-86 (1970)
- MATTHIOLIUS, H.: Persönliche Mitteilung, unveröffentlicht  
(1971)
- MENZEL, W.: Der 24-Stunden-Rhythmus des menschlichen  
Blutkreislaufes  
Erg. Inn. Med. 61, 1-52 (1942)
- MENZEL, W.: Perioden menschlicher Körperfunktionen  
in Diagnose und Therapie  
Med. Welt 43, 1521-1526 (1956)
- OTTO, K.: Das Verhalten der Traumphasen im physio-  
logischen und medikamentös induzierten  
Schlaf (Untersuchungen an normalen Proban-  
den unter polygraphischer Ableitung)  
Med. Diss. Gießen 1969
- PIRLET, K.: Thermische Einflüsse auf die Atemwege,  
2. Mitteilung  
Fundamenta balneobioclimat. 2,  
1-20 (1962)
- PÖLLMANN, L.: Der Einfluß der Tagesbelastung auf die  
Frequenzkoordination von Herzschlag und  
Atmung sowie auf Blutdruck und Spontan-  
bewegungen im Nachtschlaf gesunder  
Versuchspersonen  
Med. Diss. Marburg/Lahn 1972
- QUETELET Sur l'homme etc. II p.86, Paris 1835  
nach ZUNTZ, N. in L. HERMANN: Handbuch  
der Physiologie IV/2, S. 198, Leipzig 1882
- ROHRER, F.: Physiologie der Atembewegung, in A. BETHE,  
G. v. BERGMANN, G. EMBDEN u. A. ELLINGER:  
Handbuch der normalen und pathologischen  
Physiologie II, S. 78  
Berlin: Springer 1925
- RUTENFRANZ, J., Th. HELLEBRÜGGE u. K. STEHR: Über den Einfluß  
des Filmerlebnisses auf das Pulsverhalten  
von Kindern. Ein Beitrag zur Labilität des  
kindlichen Pulses  
Zschr. Kinderheilk. 84, 522-542 (1960)
- SCHAEFER, H. F. u. G. HILDEBRANDT: Praktisch balneologische  
Erfahrungen mit dem Puls-Atem-Quotienten  
Arch. physik. Th. 6, 375-382 (1954)

- SCHAFF, G., G. MARBACH u. J. J. VOGT: Influence de divers états de fatigue sur l' évolution de la motilité spontanée, de la fréquence cardiaque et de la fréquence respiratoire au cours du sommeil chez l'homme normal  
J. Physiol. (Paris) 52 (1), 219-220 (1960)
- SCHAFFLER, K.-D., W. EHRENSTEIN, W. MÜLLER-LIMROTH u. C. THEBAUD: Psychopharmacological Influence on Day Sleep after Night Shift  
Gegenbaurs morphol. Jahrb. Leipzig 117, I 107-114 (1971)
- SCHIEBER, J. P., A. MUZET, J. ARNARDI u. J. P. LIENHARDT: L'évolution de la fréquence cardiaque minute au cours du sommeil nocturne chez l'homme et ses relations avec les stades electroencephalographiques du sommeil  
Ref.Nr. 19, S. 15-16, Abstracts Int. Symp. "The nature of sleep", Würzburg 1971
- SCHMIDT, F.: Erkrankungen des Herzens, in H. OPITZ u. B. de RUDDER: Pädiatrie, S. 782  
Berlin: Springer 1957
- SNYDER, F., A. HOBSON, D. F. MORRISON u. F. GOLDFRANK: Changes in respiration, heart rate and systolic blood pressure in human sleep  
J. appl. Physiol. 19, 417-422 (1964)
- STEINER, R.: Vortrag Dornach 1922a  
in: Geistige Zusammenhänge in der Gestaltung des menschlichen Organismus, S. 51-67  
Dornach: R. Steiner-Nachlaßverwaltung 1971
- STEINER, R.: Vortrag Stuttgart 1922b  
in: Physiologisch-Therapeutisches auf Grundlage der Geisteswissenschaft - zur Therapie und Hygiene, S. 119-139  
Dornach: R. Steiner-Nachlaßverwaltung 1965
- STOLTE, K.: Die Erkrankungen des Herzens, der Blut- und Lymphgefäße  
in: M. v. PFAUNDLER u. A. SCHLOSSMANN: Handbuch der Kinderheilkunde Bd. III, S. 868, 4. Aufl., Berlin 1931
- STORCH, J.: Methodische Grundlagen zur Bestimmung der Puls-Atem-Koppelung beim Menschen und ihr Verhalten im Nachtschlaf  
Med. Diss. Marburg/Lahn 1967

- SUCHANTKE, G.: Puls und Atem. Versuch einer Funktions-  
erkenntnis des rhythmischen Menschen in  
Klinik und Praxis  
Beitr. Erw. Heilk. 5, 105-112 (1951)
- SUTHERLAND, G. A. u. J. Mc MICHAEL: The pulse rate and  
range in health and disease during child-  
hood  
Quart. J. Med. 22, 519-529 (1929)
- VOGEL, A.: Lehrbuch der Kinderkrankheiten  
Erlangen: Enke 1873
- VÖLKER, H.: Über die tagesperiodischen Schwankungen  
einiger Lebensvorgänge des Menschen  
Pflügers Arch. ges. Physiol. 215, 43-77  
(1927)
- VOLKMANN, A. W.: Die Hämodynamik nach Versuchen  
Leipzig 1850
- VOLKMANN, H. v.: Normogramm zur Bestimmung des Puls-Atem-  
Quotienten  
Anlage zu Beitr. Erw. Heilk. 6, (1963)
- WECKENMANN, M.: Die Wirkung von Cardiodoron B bei Patienten  
mit orthostatischem Symptomenkomplex  
Med. Welt 12, 515-521 (1970)
- WECKENMANN, M.: Über die regulative Wirkung eines Pflanzen-  
extraktes auf die Orthostase  
Ärztl. Praxis 30, 1453-1456, (1973)
- WENNER, J.: Atemphysiologische Besonderheiten  
in: H. OPITZ u. T. SCHMID: Handbuch der  
Kinderheilkunde Bd. VII, S. 13  
Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1966
- WOLFF, M. R.: Untersuchungen über den Schlafverlauf  
bei Gesunden und psychisch Kranken  
Köln/Opladen: Westdeutscher Verlag 1965
- ZABERN, B. v.: Abweichungen im Funktionsgleichgewicht  
bei seelenpflegebedürftigen Kindern und  
Jugendlichen - Eine Gruppenuntersuchung  
Beitr. Erw. Heilk. 5, 157-163 (1970)
- ZERM, F.: Untersuchungen über die Frequenzkoordi-  
nation von Herz- und Atemrhythmus im  
Kindesalter, unter besonderer Berück-  
sichtigung der Normalisierung im Nacht-  
schlaf  
Med. Diss. Marburg/Lahn in Vorbereitung  
1973

Am Ende meiner Arbeit danke ich Herrn Prof. Dr. med. G. Hildebrandt für die Überlassung des Themas, für sein unermüdliches Interesse am Fortgang der Untersuchungen und seine ständige Bereitschaft zu klärender Beratung und Diskussion.

Mein Dank gilt weiterhin Fräulein H. Arnold für ihre Hilfe bei der Anfertigung der Abbildungen sowie Herrn R. Schneider für die technische Betreuung der Registriergeräte.

## L e b e n s l a u f

Am 17. März 1946 wurde ich als erstes von drei Kindern des kaufmännischen Angestellten Heinz Janke und seiner Ehefrau Anneliese, geb. Thode, in Rendsburg geboren.

Von 1953 bis 1965 besuchte ich in Rendsburg die Freie Waldorfschule. Am 9. März 1965 erhielt ich dort das Zeugnis der Reife.

Nach der Anerkennung als Kriegsdienstverweigerer leistete ich vom 1. Juni 1965 bis zum 31. Oktober 1966 im Heil- und Erziehungsinstitut für Seelenpflege-bedürftige Kinder in Heidelberg-Schlierbach meinen zivilen Ersatzdienst.

Ab Wintersemester 1966/67 studierte ich an der Christian-Albrechts-Universität Kiel. Zum Medizinstudium wurde ich wegen Studienplatzmangel erst mit dem zweiten Semester zugelassen. Am 12. Oktober 1967 bestand ich die Naturwissenschaftliche Vorprüfung und am 15. April 1969 die Ärztliche Vorprüfung. Nach dem ersten klinischen Semester wechselte ich für zwei Semester an das Klinikum Mannheim der Universität Heidelberg. Die weiteren klinischen Semester studierte ich an der Philipps-Universität Marburg und bestand dort am 18. Juli 1972 die Ärztliche Prüfung.

Am 1. Oktober 1971 heiratete ich die Ärztin Heidi Geldhäuser. Am 7. September 1972 wurde unser Sohn Markus Stephan geboren.

Als Medizinalassistent arbeitete ich zunächst 2 Monate am Institut für Arbeitsphysiologie und Rehabilitationsforschung der Universität Marburg. Danach war ich 4 Monate lang auf der Chirurgischen Abteilung des Stadtkrankenhauses Fürth tätig. Seit 1. April 1973 arbeite ich auf der Internen Abteilung des Gemeinnützigen Gemeinschaftskrankenhauses in Herdecke/Ruhr.

Meine akademischen Lehrer waren in Kiel die Herren  
Professoren und Dozenten

Andres, Bargmann, Blümcke, Büttner, Eickenbusch,  
Freerksen, Gersonde, Gottstein, Greve, Griesser,  
Halbsgut, Herrlinger, Jürgens, Juza, Klink, Korn,  
Kroebel, v.Kügelgen, Lennert, Leonhardt, Lindner,  
Lochte-Holtgreven, Loose, Luh, Lullies, Lüllmann,  
Meves, Monje, Netter, Niesel, Overbeck, Popp, Puff,  
Reese, Rohs, Schaeuble, Schmitz, Tischler, Trincker,  
Ullbricht, Wegener;

in Mannheim die Herren Professoren und Dozenten

Dittmar, Gelbke, Grillmann, Grützner, Haas, Häfner,  
Hesse, Höer, Hoffmeister, Huth, v.Keiser, v.Kony-  
letzki, Kutscha, Legler, Loewe, Oberdahlhoff, Rei-  
mann, Schallock, Schlicht, Schöenthal, Stoll, Urba-  
schek, Wundt;

in Marburg die Herren Professoren und Dozenten

Barthelmai, Berendes, Buchholz, Dittrich, Dölle,  
Eissner, Exner, Friederich, Goebel, Gossmann, Hamm,  
Hardewig, Havemann, Heuser, Hildebrandt, Hort,  
Jacob, Koransky, Kunz, Linneweh, Malchow, Mann,  
Martini, Portig, Rohen, Schleyer, Schmidt, Schmitz-  
Moormann, Seidel, Siess, Solcher, Straub, Stroh-  
meyer, Strunk, Stutte, Voss, Weyer, Willenbockel.







